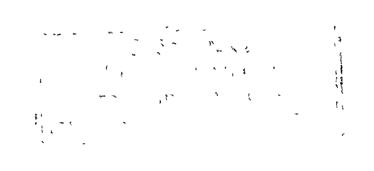
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Под общей редакцией
д-ра техн. наук, проф. С.В. Белова

Издание седьмое, стереотипное

Рекомендовано
Министерством образования и науки
Российской Федерации в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений





Москва «Высшая школа»

2007

УДК 614.8.084
ББК 68.9
Б39

Авторы: **С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков, Л.Л. Морозова, Г.П. Павлихин, И.В. Переездчиков, В.П. Сивков, С.Г. Смирнов**

Рецензенты: кафедра «Промышленная безопасность и охрана окружающей среды» Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина (зав. кафедрой проф. *Б.Е. Прусенко*); д-р техн. наук, проф. *Л.С. Стрижко* (Московский государственный институт стали и сплавов)

Б39 **Безопасность жизнедеятельности:** Учебник для вузов/ С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. 7-е изд., стер.— М.: Высш. шк., 2007.— 616 с.: ил.

ISBN 978-5-06-004171-2

В учебнике даны научно-практические знания в области безопасности жизнедеятельности человека в техносфере. Основное внимание уделено оценке влияния опасностей на человека, методам идентификации опасностей техносферы, средствам и способам создания малоопасных технических средств и технологий, а также выбору и применению защитных средств в опасных и чрезвычайно опасных условиях жизнедеятельности.

Для студентов всех специальностей и направлений подготовки бакалавров высших учебных заведений.

УДК 614.8.084
ББК 68.9

Учебное издание

Белов Сергей Викторович, **Девисилов** Владимир Аркадьевич, **Ильницкая** Александра Васильевна, **Козьяков** Анатолий Федорович, **Морозова** Людмила Львовна, **Павлихин** Геннадий Петрович, **Переездчиков** Игорь Васильевич, **Сивков** Валерий Петрович, **Смирнов** Сергей Георгиевич

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Редактор *Л.И. Захватова*. Технический редактор *М.М. Яровицкая*. Корректоры *Т.А. Вавилова, Г.Н. Петрова*. Компьютерная верстка *С.Н. Луговая*. Оператор *М.Н. Паскарь*

Лицензия ИД № 06236 от 09.11.01.
Изд. № РЕНТ-304. Подп. в печать 20.11.06. Формат 60 x 88$^1/_{16}$. Бум. газетн. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Объем 37,73 усл. печ. л. 37,99 усл. кр.-отт. Тираж 3000 экз. Заказ № 15920(к).

ФГУП «Издательство «Высшая школа», 127994, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., 29/14.
Тел.: (495) 694-04-56. http://www.vshkola.ru E-mail: info_vshkola@mail.ru

Отдел реализации: (495) 694-07-69, 200-31-47, факс: (495) 694-34-86. E-mail: sales_vshkola@mail.ru

Отпечатано в ОАО «Смоленский полиграфический комбинат» 214020, г. Смоленск, ул. Смольянинова, 1.

ISBN 978-5-06-004171-2

ПРЕДИСЛОВИЕ

В учебнике обобщены научные и практические достижения в новой области знаний — безопасности жизнедеятельности. Он подготовлен в соответствии с примерной программой дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» (БЖД) для всех специальностей и направлений бакалавриата высшего профессионального образования, утвержденной Министерством образования Российской Федерации в декабре 2000 г. Основа программы разработана кафедрой «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана еще в 1989 г.

Авторы учебника имеют опыт чтения лекций по дисциплине БЖД на факультетах машиностроительного и приборостроительного профиля, а также опыт написания конспекта лекций «Безопасность жизнедеятельности», изданного в двух частях в 1992—1993 гг. Всесоюзной ассоциацией специалистов по охране труда (ВАСОТ) и предназначенного для преподавателей технических вузов.

Изучаемая в настоящее время в высших и средних специальных учебных заведениях и средней школе дисциплина «Безопасность жизнедеятельности» призвана интегрировать на общей методической основе в единой комплекс знания, необходимые для обеспечения комфортного состояния и травмобезопасности человека во взаимодействии со средой обитания и прежде всего с техносферой.

Суть учения о безопасности жизнедеятельности человека в техносфере обусловлена наличием непрерывного воздействия на человека внешних массовых, энергетических и информационных потоков, часть из которых может иметь уровни, превышающие допустимое воздействие на него. Такие потоки оказывают опасное воздействие на человека и образуют в техносфере ноксосферные (опасные) зоны.

Формирование техносферы высокого (допустимого) качества по отношению к человеку возможно на основе превентивного анализа опасностей и устранения ноксосферных зон в техносфере за счет ограничения потоков от источников опасностей и применения средств защиты на стадиях проектирования и использования техносферы.

Для решения этих человекозащитных задач каждый специалист должен знать не только круг реальных опасностей окружающего нас мира, но и средства защиты от них. Ему необходимы также знания

в области анатомо-физиологических свойств человека и его реакциях на воздействие негативных факторов; комплексного представления об источниках опасностей; количестве и значимости травмирующих и вредных факторов среды обитания; принципов и методов качественного и количественного анализа опасностей. Все это позволяет сформулировать общую стратегию и принципы обеспечения безопасности жизнедеятельности; подойти к разработке и применению средств защиты в негативных ситуациях с общих позиций.

Учебник создан преподавателями кафедры «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Введение, гл. 1, 2 (кроме п. 2.3), 3, п.п. 6; 2; 7, гл. 7, 8, п. 10.1, гл. 12, 13, 17, 18, заключение и приложение написаны С.В. Беловым; гл. 4, 5 и 9, п. 14.4 и 14.5 — В.П. Сивковым; гл. 6 (кроме п.п. 6.2.7) совместно Л.Л. Морозовой и А.В. Ильницкой; п. 2.3, 14.1—14.3 и 14.6 — Л.Л. Морозовой; п. 10.2 — Г.П. Павлихиным; п. 10.3 — С.Г. Смирновым; п.п. 10.2.3, гл. 16 — В.А. Девисиловым; п. 11.1 и 11.3 — И.В. Переездчиковым; п. 11.2, гл. 15 — А.Ф. Козьяковым.

Авторы будут благодарны всем, кто сочтет целесообразным высказать по содержанию учебника замечания и положения, которые следует направлять по адресу: 127994, г. Москва ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14, изд-во «Высшая школа».

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ, ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕНИЯ О БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В ТЕХНОСФЕРЕ (БЖД)

В.1. ЧЕЛОВЕК И СРЕДА ОБИТАНИЯ

Человек от рождения имеет неотъемлемые права на жизнь, свободу и стремление к счастью. Свои права на жизнь, отдых, охрану здоровья, благоприятную окружающую среду, труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены, он реализует в процессе жизнедеятельности. Они гарантированы Конституцией Российской Федерации.

Известно, что «жизнь — форма существования материи». Это позволяет утверждать, что человек существует в процессе ***жизнедеятельности,*** состоящем из его *непрерывного взаимодействия со средой обитания в целях удовлетворения своих потребностей.* Понятие «жизнедеятельность» шире понятия «деятельность», поскольку включает в рассмотрение не только трудовой процесс человека, но и условия его отдыха, быта и миграции в окружающей среде.

Основным принципом существования и развития всего живого является ***принцип обязательности внешнего воздействия:*** «Живое тело развивается и существует лишь при наличии внешних воздействий на него». Саморазвитие живого тела невозможно.

Реализация этого принципа в природе достигается взаимодействием живого тела с окружающей его природной средой, а в иных условиях — взаимодействием всего живого с окружающей его средой обитания.

Среда обитания *— окружающая среда, обусловленная совокупностью факторов (физических, химических, биологических, информационных, социальных), способных оказывать прямое или косвенное, немедленное или отдаленное воздействие на жизнедеятельность человека, его здоровье и потомство.*

В соответствии с ***законом сохранения жизни Ю.Н. Куражсковского*** [1, 11]: «Жизнь может существовать только в процессе движения через живое тело потоков вещества, энергии, информации». Это позволяет утверждать, что при жизни человек связан с внешним миром (средой обитания) потоками вещества, энергии и информации, поглощая (или излучая) их.

Непрерывное взаимодействие человека с окружающей его средой свидетельствует о том, что человек и среда обитания образуют посто-

янно действующую систему «человек — среда обитания» и что именно в процессе этого взаимодействия человек реализует свои физиологические и социальные потребности.

В современном мире для человека характерны два полярных вида среды обитания: природная — обитание в биосфере и техногенная — обитание в условиях производства, города, быта.

***Биосфера** — область распространения жизни на Земле, включающая нижний слой атмосферы, гидросферы и верхний слой литосферы, не испытавших техногенного воздействия.*

Биосфера Земли всегда являлась и является защитным экраном от космического воздействия, под которым зародилась жизнь и сформировался человек. Но она обладала и сейчас обладает рядом естественных факторов, негативно влияющих на человека (высокая и низкая температура воздуха, атмосферные осадки и т. п.). Поэтому для защиты от неблагоприятных воздействий биосферы и достижения ряда иных целей человек был вынужден создать ***техносферу.***

Отметим, что естественная природная среда обитания самодостаточна и может существовать и развиваться без участия человека, а все иные среды обитания, созданные человеком, самостоятельно развиваться не могут и без участия человека обречены на старение и разрушение.

Современную структуру Вселенной можно представить в виде четырех взаимодействующих систем, схематически показанных на рис. В.1.

В.2. ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК – СРЕДА ОБИТАНИЯ». ПЕРЕХОД К ТЕХНОСФЕРЕ

На всех этапах своего развития человек и общество непрерывно воздействовали на среду обитания. И если на протяжении многих веков это воздействие на биосферу было незначительным, то начиная с середины XIX в. преобразующая роль человека в развитии среды обитания стала существенно возрастать.

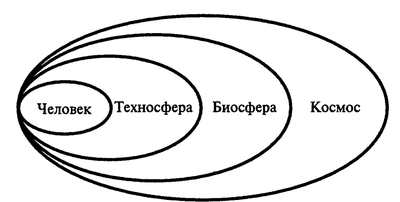


Рис. В.1. Современная схема взаимодействия человека со средой обитания

В XX в. на Земле возникли зоны повышенного антропогенного и техногенного влияния на природную среду, что привело к частичной, а в ряде случаев и к полной ее региональной деградации. Этим изменениям во многом способствовали следующие эволюционные процессы:

— рост численности населения на Земле (демографический взрыв) и его урбанизация;

— рост потребления и концентрации энергетических ресурсов;

— интенсивное развитие промышленного и сельскохозяйственного производства;

— массовое использование средств транспорта;

— рост затрат на военные цели и ряд других процессов.

Демографический взрыв. Достижения в медицине, повышение комфортности деятельности и быта, интенсификация и рост продуктивности сельского хозяйства во многом способствовали увеличению продолжительности жизни человека и, как следствие, росту населения Земли. Одновременно с увеличением продолжительности жизни в ряде регионов мира рождаемость продолжала оставаться на высоком уровне, составляя 40 чел./год и более. Высокий уровень прироста населения характерен для стран Африки, Центральной Америки, Ближнего и Среднего Востока, Юго-Восточной Азии, Индии, Китая.

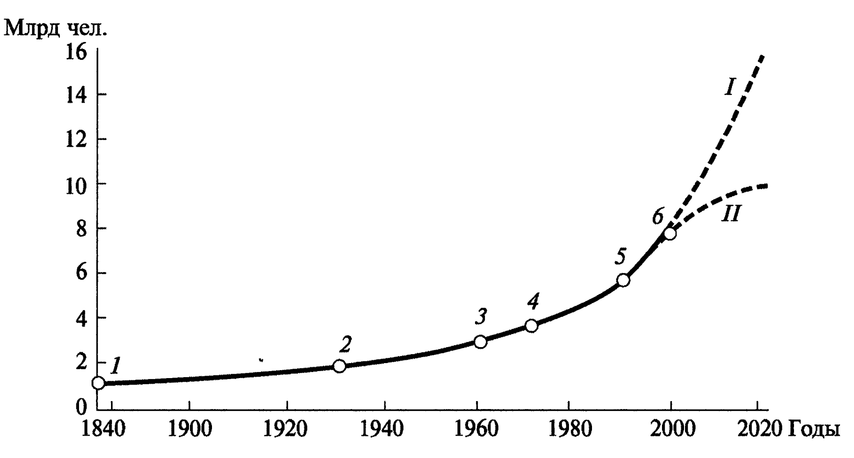


Рис. В.2. Рост численности населения Земли:

I — рост численности до 28—30 млрд чел. к 2070—2100 гг.; *II* — стабилизация численности на уровне 10 млрд чел.

Годы	1840	1930	1962	1975	1987	1999	2006
Численность населения, млрд чел.	1	2	3	4	5	6	6,5
Период прироста, лет/1 млрд чел.	500 000	90	32	13	12	12	> 6

Статистические данные о численности населения Земли и тенденции его изменения показаны на рис. В.2.

Существует несколько прогнозов дальнейшего изменения численности населения Земли (см. рис. В.2). По *I* варианту (неустойчивое развитие) к концу XXI в. возможен рост численности до 28—30 млрд чел. В этих условиях Земля уже не сможет (при современном состоянии технологий) обеспечивать население достаточным питанием и предметами первой необходимости. С определенного периода начнутся голод, массовые заболевания, деградация среды обитания и, как следствие, резкое уменьшение численности населения и разрушение человеческого сообщества.

По *II* варианту (устойчивое развитие) численность населения необходимо стабилизировать на уровне 10 млрд чел., что при существующем уровне развития технологий жизнеобеспечения будет соответствовать удовлетворению жизненных потребностей человека и нормальному развитию общества.

Урбанизация. Одновременно с демографическим взрывом идет процесс урбанизации населения планеты. Этот процесс имеет во многом объективный характер, так как способствует повышению производительной деятельности во многих сферах, одновременно решает социальные и культурно-просветительные проблемы общества. В период 1950—1990 гг. в городах мира проживало:

Годы	1950	1970	1990
Городское население Земли, %	29	37	42
Городское население России, %	48	63	75

К 1990 г. в США урбанизировано 70 % населения, в Российской Федерации к 1995 г. — 76 %.

Интенсивно растут крупные города: в 1959 г. в СССР было только три города-миллионера, а в 1984 г. — 22. В обозримом будущем в мире появятся мегаполисы с численностью населения 25—30 млн чел. Десятка мировых урбанистических лидеров выглядит сегодня следующим образом:

Город, страна	Данные на 2000 г., млн чел.	Прогноз на 2015 г., млн чел.
Токио (Япония)	26,5	27,2
Нью-Йорк (США)	16,8	17,6
Сан-Паулу (Бразилия)	18,3	21,2
Мехико (Мексика)	18,3	18,8
Шанхай (Китай)	14,7*	23,4

Город, страна	Данные на 2000 г., млн чел.	Прогноз на 2015 г., млн чел.
Бомбей (Индия)	16,5	27,4
Лос-Анджелес (США)	12,2	14,3
Пекин (Китай)	12,0*	19,4
Калькутта (Индия)	11,5*	17,6
Сеул (Южная Корея)	11,5*	13,1

*Данные 1994 г.

По итогам всероссийской переписи 2002 г., население г. Москвы составляет около 10 млн чел.

Урбанизация непрерывно ухудшает условия жизни в регионах, неизбежно уничтожает в них природную среду. Для крупных городов и промышленных центров характерен высокий уровень загрязнения компонент среды обитания. Так, атмосферный воздух городов содержит значительно большие концентрации токсичных примесей по сравнению с воздухом сельской местности (ориентировочно оксида углерода — в 50, оксидов азота — в 150 и летучих углеводородов — в 2000 раз).

Рост энергетики, промышленного и сельскохозяйственного производства, численности средств транспорта. Увеличение численности населения Земли и военные нужды стимулируют рост промышленного производства, числа средств транспорта, приводят к росту производства энергетических и потреблению сырьевых ресурсов. Потребление материальных и энергетических ресурсов имеет более высокие темпы роста, чем прирост населения, так как постоянно увеличивается их среднее потребление на душу населения. О неограниченных способностях к росту потребления свидетельствует использование электроэнергии в США. По статистическим данным, в 1970 г. США имели 7 % населения и 1/3 мирового производства электроэнергии.

Огромны затраты на военные цели. После Второй мировой войны на вооружение в мире израсходовано около 6 трлн дол. США. Военная промышленность является одним из активных стимуляторов развития техники и роста энергетического и промышленного производства:

Годы	1970	1980	1990	2000
Производство электроэнергии в мире, % к 1950 г.	173	234	318	413

Во второй половине XX в. каждые 12—15 лет удваивалось промышленное производство ведущих стран мира, обеспечивая тем самым удвоение выбросов загрязняющих веществ в биосферу. В СССР

в период с 1940 по 1980 г. возросло производство электроэнергии в 32 раза; стали — в 7,7; автомобилей — в 15 раз; увеличилась добыча угля в 4,7, нефти — в 20 раз. Аналогичные или близкие к ним темпы роста наблюдались во многих других отраслях народного хозяйства. Значительно более высокими темпами развивались химическая промышленность, объекты цветной металлургии, производство строительных материалов и др. Постоянно увеличивался мировой автомобильный парк: с 1960 по 1990 г. он возрос с 120 до 420 млн автомобилей.

В свою очередь, развитие промышленности и технических средств сопровождалось не только увеличением выброса загрязняющих веществ, но и вовлечением в производство все большего числа химических элементов:

Годы	1869	1906	1917	1937	1985
Известно	62	84	85	89	104
Использовалось	35	52	64	73	90

Энергетические уровни техногенных воздействий существенно возросли в XX столетии, когда человек получил в свое распоряжение мощную технику (рис. В.3), огромные запасы углеводородного сырья, химических и бактериологических веществ.

Вторая половина XX в. связана с интенсификацией сельскохозяйственного производства. В целях повышения плодородия почв и борьбы с вредителями в течение многих лет использовались искусственные удобрения и различные токсиканты. При избыточном применении азотных удобрений почва перенасыщается нитратами, а при внесении фосфорных удобрений — фтором, редкоземельными элементами, стронцием. При использовании нетрадиционных удобрений (отстойного ила и т. п.) почва перенасыщается соединениями тяжелых металлов. Избыточное количество удобрений приводит к пе-

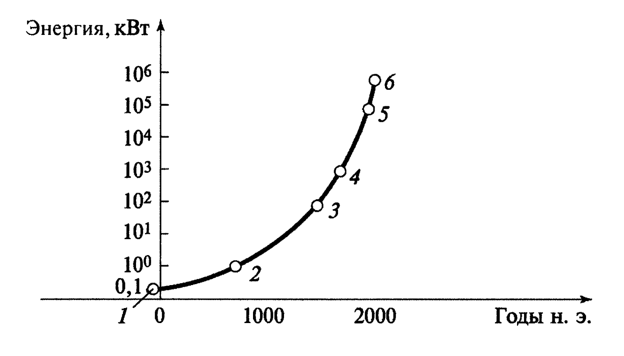


Рис. В.3. Уровни энергии, которыми владеет человек:

1 — осел, бык; *2* — лошадь; *3* — паровая машина (1770); *4* — ДВС (200 МВт) (1900); *5* — турбины, ТЭС и т. п.; *6* — АЭС, ракеты

ренасыщению продуктов питания токсичными веществами, нарушает способность почв к фильтрации, ведет к загрязнению водоемов, особенно в паводковый период.

Пестициды, применяемые для защиты растений от вредителей, опасны и для человека. Установлено, что от прямого отравления пестицидами в мире ежегодно погибает около 10 тыс. чел., гибнут леса, птицы, насекомые. Пестициды попадают в пищевые цепи, питьевую воду. Все без исключения пестициды обнаруживают либо мутагенное, либо иное отрицательное воздействие на человека и живую природу.

Техногенные аварии и катастрофы. До середины XX в. человек не обладал способностью инициировать крупномасштабные аварии и катастрофы и тем самым вызывать необратимые экологические изменения регионального и глобального масштабов, соизмеримые со стихийными бедствиями.

Появление ядерных объектов, высокая концентрация прежде всего химических веществ и рост их производства сделали человека способным оказывать разрушительное воздействие на экосистемы. Примером тому служат трагедии в Чернобыле, Бхопале. Огромное разрушительное воздействие на биосферу оказывают испытания ядерного и других видов оружия (г. Семипалатинск, о. Новая Земля).

Из сказанного видно, что XX столетие ознаменовалось потерей устойчивости в таких процессах, как рост населения Земли и его урбанизация. Это вызвало крупномасштабное развитие энергетики, промышленности, сельского хозяйства, транспорта, военного дела и обусловило значительный рост антропогенного и техногенного воздействий. Во многих странах такие воздействия продолжают нарастать и в настоящее время. В результате активной техногенной деятельности человека во многих регионах нашей планеты разрушена биосфера и создан новый тип среды обитания — техносфера.

***Техносфера** — среда обитания, возникшая с помощью прямого или косвенного воздействия людей и технических средств на природную среду с целью наилучшего соответствия среды социально-экономическим потребностям человека. Техносфера — детище XX в., приходящее на смену биосфере.*

Создавая техносферу, человек стремился к повышению комфортности среды обитания, росту коммуникабельности, обеспечению защиты от естественных негативных воздействий. Все это благоприятно отразилось на условиях жизни и в совокупности с другими факторами (улучшение медицинского обслуживания и др.) положительно сказалось на продолжительности жизни людей.

Однако созданная руками и разумом человека техносфера, призванная максимально удовлетворять его потребности в комфорте и безопасности, не оправдала во многом надежды людей. Появившиеся производственная и городская среды обитания оказались далеки по уровню безопасности от допустимых требований.

Появление техносферы привело к тому, что биосфера во многих регионах нашей планеты стала активно замещаться техносферой. Из табл. В.1 видно, что на планете осталось мало территорий с ненарушенными экосистемами. В наибольшей степени экосистемы разрушены в развитых странах — в Европе, Северной Америке, Японии. Здесь естественные экосистемы сохранились в основном на ограниченных площадях и представляют собой небольшие пятна биосферы, окруженные со всех сторон нарушенными деятельностью человека территориями, и поэтому подвержены сильному техносферному давлению.

Таблица В.1. **Состав площадей на некоторых континентах Земли**

Континент	Ненарушенная территория, %	Частично нарушенная территория, %	Нарушенная территория, %
Европа	15,6	19,6	64,8
Азия	43,6	27,0	29,4
Сев. Америка	56,3	18,8	24,9

Аналогичная ситуация складывается и в мегаполисах. Так, например, в Москве (данные 2000 г.) территория занята следующим образом:

Вид использования	Доля, %
Жилые и нежилые строения, объекты экономики и т. п.	52,9
Зеленые насаждения	34,2
Транспортные магистрали	10,0
Водоемы	2,9

К новым техносферным относятся условия обитания человека в городах и промышленных центрах, производственные, транспортные и бытовые условия жизнедеятельности. Практически все урбанизированное население проживает в техносфере, где условия обитания существенно отличаются от биосферных.

Интенсивное развитие техносферы во второй половине XX в. не только породило новую для человека среду обитания, но и поставило перед ним задачу обеспечения своей безопасности в этих новых условиях.

В итоге эволюции история человечества породила очередной парадокс — *в течение многих столетий люди совершенствовали технику, чтобы обезопасить себя от естественных опасностей, а в результате пришли к наивысшим техногенным опасностям, связанным с производством и использованием техники и технологий.*

В.3. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УЧЕНИЯ О БЖД

Причины возникновения и формирования учения о БЖД в России — это потребности общества и человека в защите от опасностей.

Потребности общества:

— сохранение здоровья и трудоспособности членов общества;

— защита членов общества от естественных опасностей;

— сохранение или рациональный рост численности членов общества в условиях воздействия опасностей от внешних причин.

Потребности человека:

— употребление качественных продуктов, питьевой воды, атмосферного воздуха;

— защита жизни и здоровья от внешних опасностей среды обитания;

— стремление к повышению СПЖ;

— другие (см. классификацию потребностей).

Стремление к сохранению здоровья, активной деятельности и долгой жизни является одной из важнейших потребностей и функций человека на всех этапах его эволюции. Цицерон утверждал: *«Прежде всего каждому виду живых существ природа даровала стремление защищаться, защищать свою жизнь»*.

По значимости потребность в обеспечении безопасности всегда занимала и занимает ведущее место после первоочередной потребности человека в обеспечении себя и своих близких пищей, водой и воздухом.

На рис. В.4 показана классификация потребностей человека, предложенная А. Маслоу (1954). На схеме все потребности размещены в иерархическом порядке, причем потребность в безопасности, следуя непосредственно за физиологическими потребностями, присущими всему живому, является первой потребностью, удовлетворение которой требует чисто человеческого качества — разума. Разум нужен для предвидения развития событий и последствий своих действий, без чего обеспечение безопасности просто невозможно.

Многие человеческие потребности выросли из потребности в безопасности, и прежде всего потребность в социальных связях, в объе-



Рис. В.4. Классификация потребностей человека по А. Маслову (1954)

динении людей в сообщество, которое повышает безопасность каждого его участника. При этом возникает общий интерес участников в безопасности самого сообщества, повышающий исходную личную потребность каждого в безопасности.

Средняя продолжительность жизни (СПЖ) людей. Степень удовлетворения потребности человека в безопасности оценивается во многом продолжительностью его жизни. Бесспорно, что чем выше качество среды обитания и стремление человека к здоровому и безопасному образу жизни, тем большая продолжительность жизни будет достигнута. В любом государстве СПЖ людей является интегральным критерием благополучия населения.

В повышении средней продолжительности жизни людей всегда занимала и занимает важное место их *защита от опасностей.* Начиная с этапа появления первобытного человека (около 700 тыс. лет до н. э.) и до конца этапа аграрной революции (середины XIX в. н. э.) человек и общество во многом интуитивно решали проблемы своей безопасности, создав простейшие средства защиты от естественных опасностей. На этом этапе были созданы: одежда, жилище, средства и орудия защиты от негативных воздействий природы и общества; позднее были разработаны безопасные приемы и комфортные условия деятельности; сформулированы представления о здоровом образе жизни и многое другое. Конечным итогом этой поистине титанической деятельности явилось увеличение средней продолжительности жизни людей из поколения в поколение:

Век	СПЖ, лет
Медный, бронзовый, железный	30
К началу XIX в.	35...40
В конце XX в.	60...63

Экономика и СПЖ. Современная статистика свидетельствует о том, что средняя продолжительность жизни населения всех стран неразрывно связана *с реальным доходом на душу населения.* Это убедительно подтверждают данные по странам Восточной Европы, приведенные в табл. В.2 (данные ООН, 2000 г.).

Таблица В.2. **Доходы населения в Восточной Европе**

Страна	Доход, дол. США/чел.	СПЖ, лет
Словения	953	74,5
Хорватия	640	72,8
Польша	430	72,5
Чехия	336	73,9
Венгрия	320	70,9
Словакия	259	73
Румыния	128	70
Болгария	112	71,1
Россия	97	66,6

Уровень доходов населения страны влияет также и на число преждевременных смертей (рис. В.5). Повышая доходность населения, можно существенно уменьшить смертность населения и увеличивать продолжительность жизни людей.

Средняя продолжительность жизни россиян. О существенном влиянии ухудшения экономического состояния стран и снижения уровня социального обеспечения населения на среднюю продолжительность жизни свидетельствуют процессы, происходящие в России с начала перестройки. Начиная с 1986 по 1993 г. в стране средняя продолжительность жизни у мужчин снизилась с 66,6 года до 59,1 года, т. е. на 7,5 лет, а у женщин — с 76,6 до 72 лет (рис. В.6).

Основными причинами резкого падения СПЖ населения России в этот период явились:

— снижение ВВП (валовой внутренний продукт) на душу населения (за годы перестройки ВВП в России снизился почти на 50 %);
— ухудшение медицинского обслуживания;
— ухудшение состояния среды обитания;
— несоблюдение норм здорового образа жизни;
— снижение требования безопасности в трудовой сфере.

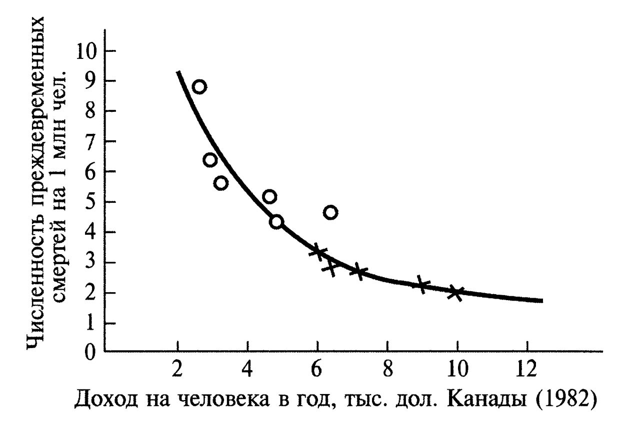


Рис. В.5. Показатели преждевременной смертности от уровня доходов населения:

○ — Великобритания 1971 г., только женщины; × — Канада 1971 г., городское население

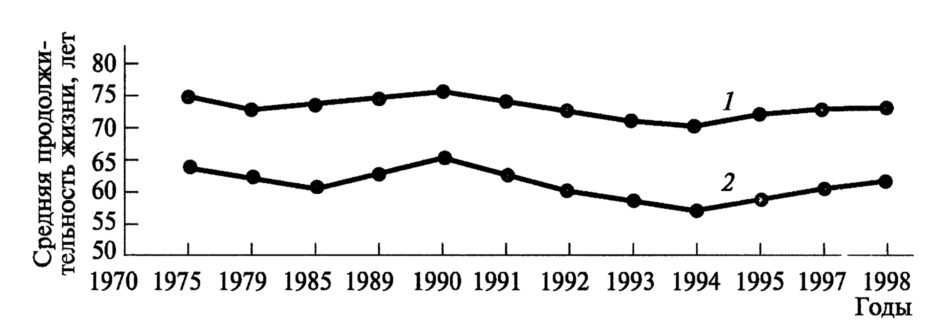


Рис. В.6. Средняя продолжительность жизни населения России:

1 — женщины; *2* — мужчины

Народонаселение России. Показатели состояния народонаселения России приведены в табл. В.3. Снижение СПЖ россиян неизбежно привело к снижению их численности. Начиная с середины 1990 г. в России наблюдается спад численности населения (рис. В.7). Известно, что численность населения любой страны определяется естественным приростом, смертностью и миграцией ее населения. К 2000 г. прирост и смертность населения России были таковы, что в каждой 1000 человек населения ежегодно умирали около 15, а рождались всего 9 человек (рис. В.8), поэтому Россия теряла около 800 — 900 тыс. чел. из общей численности населения ежегодно. В настоящее

время эта ситуация практически не меняется. Прогноз численности населения России на ближайшие годы, показанный на рис. В.9, свидетельствует о его кризисном положении.

Таблица В.3. **Показатели состояния народонаселения России (1980—2000)**

Показатели	1980	1985	1990	1995	1998	2000
Численность населения, млн чел.	138,8	143,5	148,2	147,6	146,3	145,0
СПЖ	67,6	69,2	69,2	64,6	67	66,6
Численность пенсионеров, млн чел.	23,1	25,6	28,2	30,2	30,5	307
Численность родившихся, млн чел./год	2,2	2,38	1,99	1,37	129	1,26
Численность мигрантов тыс. чел:						
прибыло	876,4	877,1	913,2	842,1	495,3	—
убыло	780,7	705,1	729,5	339,6	216,7	—
прирост	95,7	172,0	183,7	502,5	278,6	—
Численность умерших, млн чел./год	1,53	1,63	1,66	2,20	1,99	2,22

В табл. В.4 для сравнения приведены значения коэффициентов рождаемости, смертности и естественного прироста населения некоторых стран мира. Ряд европейских стран (Италия, Румыния и др.) имеют так же, как в России отрицательный естественный прирост населения, однако показатели в разы лучше, чем российские.

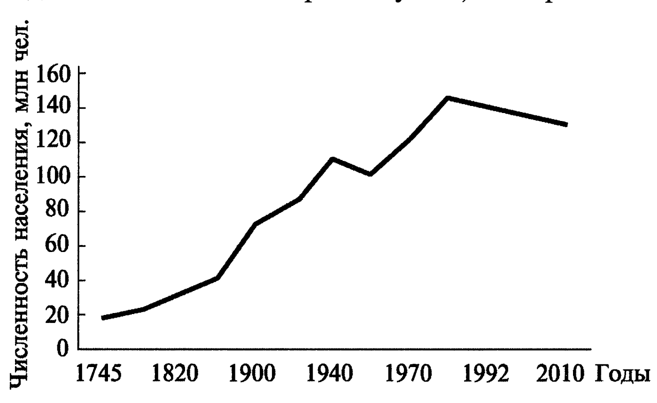


Рис. В.7. Изменение численности населения России

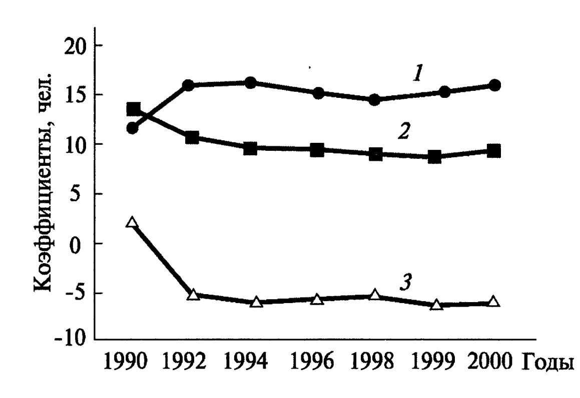


Рис. В.8. Изменения коэффициентов рождаемости (КР), смертности (КС) и естественного прироста ($ЕП_{1000}$) в конце XX столетия:

1 — коэффициент смертности; *2* — коэффициент рождаемости; *3* — коэффициент прироста

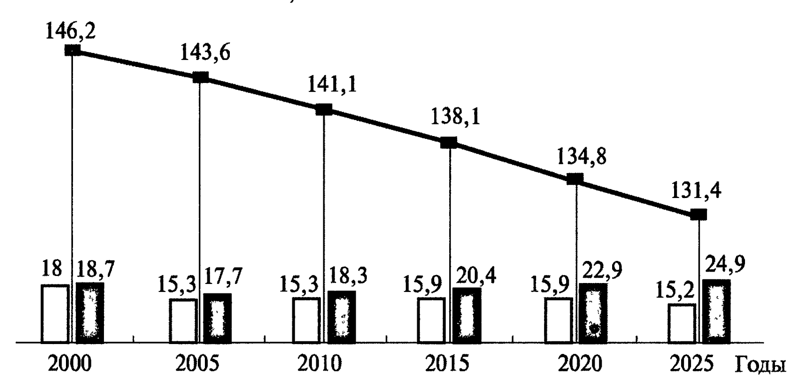


Рис. В.9. Демографический прогноз для России:

□ — доля детей в возрасте до 15 лет, %; ■ — доля пожилых в возрасте 60 лет и старше, %

Основные формальные причины снижения численности населения в России следующие:

— *низкая рождаемость:* на уровне в среднем 1,17 ребенка на семью, обусловленная низким уровнем экономического и социального обеспечения населения, слабостью семейных отношений, высоким уровнем абортов, высокой смертностью населения в репродуктивном возрасте и рядом других причин;

— *высокая смертность* (рис. В.10): основные причины — болезни кровообращения, травмы и отравления. На их долю приходится соответственно 55, 14 и 14 % об общей смертности народонаселения.

Рождаемость. Проблемы низкой рождаемости связаны прежде всего с качественными и количественными показателями уровня жизни и поведения репродуктивной части населения страны. Коли-

чество мужчин и женщин, соотношение полов, численность семей и разводов — важнейшие показатели, определяющие рождаемость населения страны.

Таблица В.4. **Коэффициенты рождаемости, смертности и естественного прироста населения в некоторых странах мира (1990—1993) (данные Госкомстата России)**

Страна	КР		КС		$ЕП_{100}$	
	1990	1993	1990	1993	1990	1993
Мексика	31,2	32,5	5	4,8	26,2	27,7
Аргентина	20,9	19,8	8	7,9	12,9	11,9
Китай	21,1	18,1	6,7	6,6	14,4	11,5
Бразилия	16,7	16,2	5,9	5,6	10,8	10,6
Австрия	15,4	14,7	7	6,9	8,4	7,8
США	16,6	15,6	8,6	8,8	8,0	6,8
Италия	9,8	9,4	9,3	9,5	0,5	– 0,1*
Румыния	13,6	11,0	10,6	11,6	3	– 0,6
Германия	11,4**	9,8	11,5**	11,1	– 0,1**	– 1,3
Болгария	11,7	10,0	12,1	12,9	– 0,4	– 2,9
Венгрия	12,1	11,4	14,1	14,6	– 2	– 3,2
Россия	13,4	9,6***	11,2	15,7***	2,2	– 6,1***
Россия (1995)	9,3		15,0		– 5,7	
Россия (1996)	8,9		14,3		– 5,4	

*(–) — естественная убыль.
**Данные приведены по бывшей ФРГ.
***1994 г.
КР — коэффициент рождаемости, равный численности родившихся в группе из 1000 чел./год;
КС — коэффициент смертности, равный числу умерших в группе из 1000 чел./год;
$ЕП_{1000}$ = КР – КС — коэффициент естественного прироста.

В 2001 г. 145-миллионное население России состояло из 29 млн детей, 30 млн пенсионеров, 17 млн алкоголиков и 9 млн инвалидов. На здоровую, репродуктивную часть приходилось менее половины ее

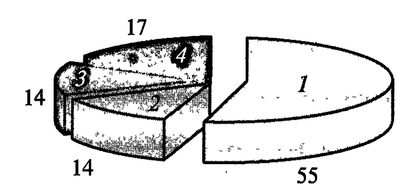


Рис. В.10. Причины смертности народонаселения России, % (данные 1993 г.):

1 — болезни кровообращения; *2* — отравления; *3* — травмы; *4* — прочие причины

населения, однако и она не обладала способностью к оптимальной рождаемости из-за высокой смертности мужчин репродуктивного возраста.

Экономическое и социальное положение репродуктивной части населения России было таково, что оно слабо стимулировало стремление семейных пар к значительному количеству детей. Один, максимум два ребенка — наиболее распространенная семейная ситуация.

Это во многом объясняет и многочисленность абортов в России по сравнению с европейскими странами и США. Число абортов (смертность до рождения) в России в последние годы (1992—1999) неуклонно снижается с 3265,7 тыс. в 1992 г. до 2059,7 тыс. в 1999 г. В то же время число абортов на 100 родов в России примерно равно 200. В США, Германии, Франции и ряде других стран оно значительно меньше — от 15 до 30.

Смертность. В 1990 г. в России умерло 1 655 993, а в 2000 г. — 2 217 062 человек. Причины смерти принято разделять на естественные (старость, болезни) и внешние (травмы, отравления и т. п.). Для России их соотношение обычно составляло 5 : 1. Однако в 1993 г. практически половина потерь населения России была обусловлена смертностью от травм и отравлений (см. рис. В.10).

Различают дорепродуктивный, репродуктивный и пострепродуктивный периоды жизни человека. Такие показатели, как младенческая (рис. В.11) и детская смертность во многом определяют потери населения в дорепродуктивный период жизни.

Младенческая смертность (смертность в первый год жизни) в России в 1998 г. составила 16,5 чел. на 1000 родившихся, в Японии (1997) — всего 3,7. Смертность малышей в России от несчастных случаев также высока и составляет 0,992, в Японии — 0,233.

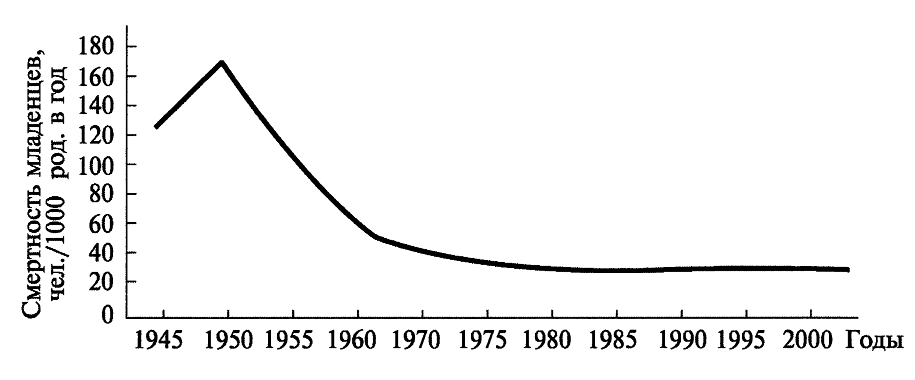


Рис. В.11. Младенческая смертность в России

В 1999 г. детский травматизм (дети до 14 лет включительно) составил 2400 тыс. чел. (10,7 %), травматизм взрослого населения (для сравнения) — 9940 тыс. чел. (11,3 %). По месту получения травм детский травматизм распределен следующим образом.

Место получения травмы	Доля травматизма, %
В быту	44,2
На улицах	36,8
На транспорте	1,4
В школе	8,9
На спортивных площадках	3,9
Прочее	4,7

Смертность репродуктивного (трудоспособного) населения оказывает наибольшее негативное влияние на численность населения России. Смертность репродуктивного населения (особенно гибель мужчин на производстве, в армии, в результате ДТП, от алкоголя и т. п.) существенно влияет не только на показатели смертности, но и на показатели рождаемости. В России в 1965—1995 гг. средний возраст мужчин, погибших в результате внешних причин, составил 42—44 года, а женщин — 49—54 года.

В настоящее время в России от внешних и прочих причин погибают более 330 тыс. чел. в год.

Причины гибели	Число погибших, чел.	
	1997 г.	**2002 г.**
Дорожно-транспортные происшествия (ДТП)	27 000	33 243
Отравления некачественным алкоголем	27 900	44 700
Пожары	13 795	19 906
Несчастные случаи на производстве	4734	3920
Чрезвычайные ситуации:	**2000 г.**	**2004 г.**
природные	48	27
техногенные	976	1930

Необходимо отметить также, что численность погибших при пожарах в последние годы стабильно высока (рис. В.12), а аварийность и смертельный травматизм на опасных производственных объектах незначительно снижается (рис. В.13).

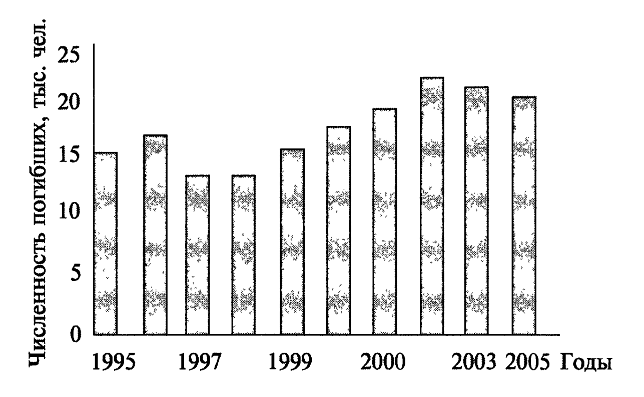


Рис. В.12. Численность погибших при пожарах в России

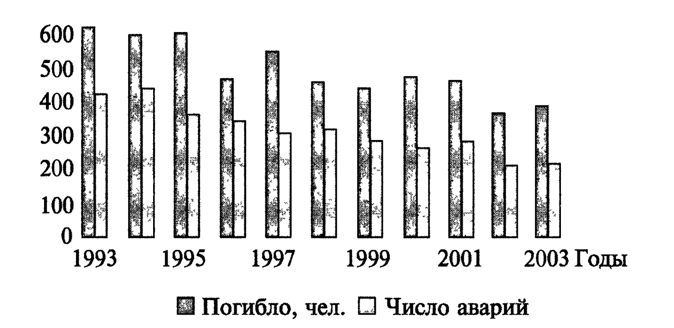


Рис. В.13. Аварийность и смертельный травматизм на опасных производственных объектах

Производственный травматизм со смертельным исходом в России в последние годы находится на уровне 0,15 случаев на 1000 работающих, тогда как за рубежом этот показатель существенно ниже и составляет 0,07—0,09.

Смертность населения России от внешних причин в 2000 г. достигла 14,3 % от общей годовой смертности населения в странах Европы, в США и Японии — 5 — 5,5 % и продолжает неуклонно нарастать.

Год	Численность погибших от внешних причин
1990.	198,3
1995.	348,5
2000.	318,7
2002.	339,2

На основании вышеизложенного можно утверждать, что в современной России достигнутый уровень удовлетворения потребностей населения страны в его безопасности значительно уступает современным достижениям ведущих стран мира в этой области. Поэтому государство, общество и каждый гражданин России в ближайшем будущем должны целенаправленно принимать радикальные меры по обеспечению безопасности населения страны.

В.4. ЦЕЛЬ УЧЕНИЯ О БЖД

Побудительными причинами возникновения в России учения о БЖД человека в техносфере являются:

— высокая смертность населения от внешних причин, в том числе высокая смертность населения (особенно мужчин) репродуктивного возраста;

— низкие показатели средней продолжительности жизни, прежде всего характерные для мужской части населения;

— значительное ежегодное снижение общей численности населения России в настоящий период и на перспективу.

Основная цель учения о БЖД — формирование и широкая пропаганда знаний, направленных на снижение смертности и потерь здоровья людей от внешних причин.

Важно понимать, что значение знаний о БЖД не ограничивается прямыми успехами в снижении смертности людей. Оно неизмеримо шире, поскольку уменьшение смертности репродуктивной и дорепродуктивной групп населения неизбежно будет сопровождаться позитивным влиянием на показатели рождаемости и средней продолжительности жизни населения. Это позволяет также утверждать, что достижение основной цели БЖД будет способствовать и позитивному решению демографических проблем в России.

Значение этих проблем для нашей страны трудно переоценить, поскольку, по прогнозам, России в обозримом будущем грозит вымирание. Важнейшая задача, стоящая сейчас перед обществом и государством, — стабилизировать численность населения России, сохранить ее генофонд. Решение этой задачи многовариантно, а по уровню важности она близка к национальной идее [3].

Этой же точке зрения придерживается и писатель Солженицын [АиФ, 2005, № 23, с. 4]. В своем интервью телеканалу Россия он сказал: «...я предложил бы национальную идею, которая изложена 250 лет тому назад елизаветинским вельможей Петром Ивановичем Шуваловым. Он предложил Елизавете руководствоваться как главным законом таким — *сбережение народа.* Какая здесь мысль!».

Решение демографических проблем в государстве за счет снижения смертности его граждан требует:

— значительного роста ВВП (с 1999—2003 гг. ВП вырос на 29,9 %);

— модернизации системы государственного управления в человекозащитной сфере;

— формирования научного потенциала, направленного на развитие учения о безопасности жизнедеятельности населения стран в техносферных условиях;

— создания концепции всеобщего и профессионального обучения россиян, по БЖД, направленного на овладение и расширение их знания о культуре безопасности.

В.5. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕНИЯ О БЖД

Жизнь человека требует определенного сочетания условий обитания. Если все условия среды обитания благоприятны, за исключением одного, то именно это условие становится решающим для жизни рассматриваемого организма. Оно лимитирует развитие организма. В соответствии с *законом Либиха* выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей. Разрушение организма возможно и под действием совокупности внешних факторов, т. е. при их сочетанном воздействии.

Результат негативного внешнего влияния на организм зависит от свойств и параметров потока воздействия, а также от свойств организма.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), индивидуальная продолжительность жизни людей во многом связана с условиями их жизнедеятельности. ВОЗ считает, что здоровье человека определяется

генетическими факторами	18—20 %
организацией здравоохранения	7—10 %
образом жизни	30—40 %
состоянием окружающей среды	30—40 %

Данные ВОЗ отчетливо свидетельствуют о том, что здоровье человека зависит во многом (до 70 %) от его поведения и состояния среды обитания. В профилактике негативного влияния этих факторов различают три главных направления: личное безопасное поведение человека, реализацию общественных (коллективных) мер по безопасности деятельности и обеспечение качественного состояния среды обитания.

Личные меры безопасности связаны с рациональным выбором места жительства, соблюдением правил и норм охраны труда, следованием традициям здорового образа жизни, которые могут существенно продлить жизнь каждого человека и его близких, избавить их от преждевременной старости и гибели.

На каждом этапе социально-экономического развития страны значительное позитивное влияние на здоровье населения оказывают ***коллективные меры безопасности***. Они направлены на реализацию безопасных условий деятельности и быта; эффективную работу систем предупреждения и защиты населения от техногенных и естественных катастроф. Эффективность коллективных мер во многом обусловлена успешным взаимодействованием государственных структур, ответственных за их реализацию, наличием законодательно-нормативной базы, использованием современных средств и методов защиты людей от негативных взаимодействий.

Обеспечение ***качественного состояния среды обитания*** достигается главным образом в результате рационального обращения с ресурсами и отходами, использования в условиях техносферы объектов экономики, машин и технологий, соответствующих нормативным требованиям по безопасности и экологичности.

Создатели учения о безопасности жизнедеятельности человека в техносфере считают, что значительную роль, если не сказать определяющую, в рациональном использовании личных и коллективных мер защиты в создании качественной среды обитания играет уровень владения каждым человеком знаниями об опасностях окружающего нас мира и способах защиты от них, что и составляет основу понятия *«культура безопасности»*. Эффективное использование этих знаний позволяет существенно сократить людские потери от нарушения здорового образа жизни, пренебрежения опасностями, нерационального выбора условий проживания и т. п. Умелое использование этих знаний даже при наличии экономических трудностей в стране позволяет создавать для человека малоопасные жизненные условия, гарантирующие ему сохранение здоровья и максимально возможную продолжительность жизни.

Знания в области безопасности необходимы всем членам общества на всех этапах жизни. На школьном уровне каждый человек концентрирует свое внимание на личной и коллективной безопасности, что составляет основу его культуры безопасности. Далее он обязан повышать свою культуру безопасности, поскольку каждый, переходя из состояния учащегося (после завершения обучения в школе, вузе) в состояние работника — созидателя, должен знать и всегда оценивать возможные негативные последствия своих действий.

Человек стремится к созидательной жизни, пытаясь, как правило, изменить окружающий его мир в свою пользу. К сожалению, это преобразование, кроме желаемого, создает неизбежно и негативные эффекты, порождая тем самым негативные воздействия на окружающий человека мир. В своей деятельности человек участвует не один, он объединяется с другими людьми, образуя группы, коллективные сообщества, которые становятся все более многочисленными. В составе сообществ преобразующая деятельность человека значительно возрастает. В этих условиях человеку весьма важно правильно оценить свою роль не только как созидателя нового, но и как *творца опасностей*, постоянно помня о возможных негативных последствиях своей деятельности. Это свойственно людям, в совершенстве овладевшим культурой безопасности.

Научно-практическое сопровождение задач сохранения здоровья и жизни людей, взаимодействующих с техническими системами, реализующих технологические процессы и проживающих в современной техносфере, во многом достигается на основе научных знаний о БЖД человека.

Безопасность жизнедеятельности — наука о комфортном и травмобезопасном взаимодействии человека с техносферой. (Понятие «безопасность жизнедеятельности» формализовано впервые в России в 1990 г. Решение Коллегии государственного комитета СССР по народному образованию № 8/3 от 27.04.90 имело название «О мерах по созданию системы непрерывного образования в области «безопасности жизнедеятельности».)

Возникновение новой области научных знаний — объективная потребность современного состояния общества. Известно, что необходимость защиты от пожаров, опасностей в сфере деятельности людей, естественных стихийных явлений и т. п. существовала всегда на всех этапах развития человеческого общества, однако масштабы защитной деятельности не требовали вовлечения в эту сферу всего населения планеты, так как многое решали специалисты. Ниже приведены этапы развития знания о человекозащитной деятельности в России.

Вид деятельности	Начало реализации деятельности
Пожарная защита	Начало XIX в.
Техника безопасности	Середина XIX в.
Охрана безопасности труда	Середина XIX в.
Госгортехнадзор	Конец XIX в.
Гражданская оборона	1938 г.

Вид деятельности	Начало реализации деятельности
Охрана (защита) окружающей среды	1972 г
Защита в чрезвычайных ситуациях	1990 г.
Безопасность жизнедеятельности человека в техносфере	1990 г.

Так, в период после аграрной революции (середина XIX в.) до начала этапа научно-технической революции (30-е годы XX столетия), когда появились паровые, нефтяные и электрические двигатели, технологии получения и обработки металлов и ряд других технических решений, были реализованы первые научно-технические разработки в области безопасности труда, получившие тогда название *техника безопасности.* К середине XX столетия оно заменяется понятием — *безопасность (охрана) труда*, которое включает, кроме основ техники безопасности, широкий круг вопросов, связанных с соблюдением безопасных условий труда.

В 50-е годы XX столетия в мире, а в России официально с 1972 г. возникло новое направление защитной деятельности — *охрана (защита) окружающей среды*, главная цель которой сводилась к смягчению негативного влияния техносферы на биосферу.

Позднее в нашей стране берет начало защитная деятельность в области чрезвычайных ситуаций (Министерство по чрезвычайным ситуациям было образовано в декабре 1990 г.). Отметим значительно большую историю в сфере защиты от чрезвычайных происшествий государственной деятельности по предупреждению и ликвидации пожаров, аварий на транспорте и в горнорудной промышленности (Госгортехнадзор).

На рубеже XX—XXI вв., учитывая, что основной средой обитания для человека стала техносфера, обладающая высокой концентрацией опасностей, возникла необходимость *вовлечения в защитную деятельность всего населения нашей планеты.*

Новая область научных знаний — ***наука о безопасности жизнедеятельности человека в техносфере*** и соответствующее ей содержание понятия ***культура безопасности*** формируются сейчас на основе накопленного ранее богатого практического опыта решения прикладных задач (защита от вибраций, шума, электромагнитных полей, механического травмирования и др.) и позитивных попыток использования фундаментальных основ науки.

Цель науки о БЖД — создание защиты человека в техносфере от внешних негативных воздействий антропогенного, техногенного

и естественного происхождения. *Объектом защиты* от опасности является человек.

Предмет исследований в науке о БЖД — это опасности и их совокупность (после опасностей), действующие в системах «объект защиты — источник опасности», а также средства и системы защиты от опасностей.

В.6. МЕСТО И РОЛЬ ЗНАНИЙ О БЖД В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Приступая к изучению знаний по безопасности жизнедеятельности человека в техносфере, следует определить место БЖД в общем объеме «знаний о воздействии живых существ между собой и окружающей средой» [Э. Геккель, 1869], изучаемых в науке «Экология».

Экология — наука о доме. В экологии главное изучение не существ, а изучение состояние среды обитания и процессов взаимодействия существ со средой обитания. Объектами экологии являются биосфера, экосистемы (биоценоз), популяции организмов, биотоп.

В XIX в. экологи изучали в основном закономерности биологического взаимодействия в биосфере, причем роль человека в этих процессах считалась второстепенной. В конце XIX—XX в. ситуация изменилась: экологов все чаще стала беспокоить роль человека в изменении окружающего нас мира. В этот период произошли значительные изменения в окружающей человека среде обитания. Биосфера постепенно утрачивала свое господствующее значение и в населенных людьми регионах стала превращаться в техносферу.

В окружающем нас мире возникли новые условия взаимодействия живой и неживой материи: взаимодействие человека с техносферой, взаимодействие техносферы с биосферой (природой) и др. Сейчас правомерно говорить о возникновении новой области знаний — экологии техносферы, где главными «действующими лицами» являются человек и созданная им техносфера.

По современным представлениям, наука «экология» распадается на две большие области — «экология биосферы» и «экология техносферы».

Экология техносферы — наука о взаимодействии человека с техносферой.

Область знания «экология техносферы» включает как минимум основы техносферостроения и регионоведения, социологию и организацию жизнедеятельности человека в техносфере и защиту природной среды от негативного влияния техносферы. Структура областей знаний «экология биосферы» и «экология техносферы» приведены ниже.

ЭКОЛОГИЯ

Экология биосферы	*Экология техносферы*
Учение о биосфере	Техносферостроение
Геоэкология	Регионоведение
Экология почв	Социология
Гидроэкология	Сервис
Экология атмосферы	БЖД
Природопользование	Защита биосферы
Заповедное дело	Другие
Другие	

Оценивая возможное взаимовлияние знаний о БЖД и защите биосферы, следует понимать, что их объединяет во многом общность техносферных источников опасности, одновременно негативно действующих на человека и биосферу. Следовательно, и принимаемые решения по локализации опасностей имеют много общего, тем более что нормативная база по ограничению опасностей почти всегда ориентирована на защиту человека.

В.7. ОБРАЗОВАНИЕ В ОБЛАСТИ БЖД В РОССИИ

Обучение основам науки о БЖД с девяностых годов XX столетия успешно проходит во многих школах, ссузах и вузах нашей страны. В вузах ведется общепрофессиональное обучение по БЖД студентов всех направлений подготовки, а также подготовка дипломированных специалистов по направлению 656500 «Безопасность жизнедеятельности».

Настоящий учебник реализует программу общепрофессионального образования студентов вузов в области БЖД. Цели и задачи изучения общепрофессиональной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» следующие:

цель БЖД — формирование у специалистов представления о неразрывном единстве профессиональной и иной деятельности с требованиями безопасности создаваемой и эксплуатируемой ими техники и о реализации условий комфортности и защищенности человека от опасностей;

задача БЖД — вооружить обучаемых теоретическими знаниями и практическими навыками:

— для идентификации в среде обитания негативных воздействий естественного, антропогенного и техногенного происхождения;

— прогнозирования процессов развития этих негативных воздействий и оценки последствий их действия;

— создания комфортного (нормативно-допустимого) состояния среды обитания в зонах трудовой деятельности и отдыха человека;

— проектирования и эксплуатации техники, технологических процессов и объектов экономики в соответствии с требованиями по безопасности и экологичности;

— разработки и реализации мер защиты человека и среды обитания от негативных воздействий;

— обеспечения устойчивости функционирования объектов и технических систем в штатных и чрезвычайно опасных ситуациях;

— принятия решений по защите производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий и применения современных средств поражения, а также принятия мер по ликвидации их последствий.

Контрольные вопросы по введению

1. Сформулируйте понятия «биосфера» и «техносфера».
2. Сформулируйте закон Ю.Н. Куражсковского.
3. Какой этап демографического развития переживает Россия в начале XXI в.?
4. Какие факторы влияют на здоровье людей?
5. Как продолжительность жизни людей связана с экономическими показателями страны?
6. Какой показатель интегрально оценивает влияние экономического и социального развития страны на здоровье ее населения?
7. Назовите основные пути снижения смертности людей от внешних причин.
8. Какие виды человекозащитной деятельности в России вам известны?

Раздел I

УЧЕНИЕ О БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Глава 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УЧЕНИЯ

1.1. ПРИНЦИПЫ, ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ НАУКИ О БЖД

Формирование знаний, умений и навыков в человекозащитной сфере началось давно и непрерывно происходит в настоящее время. Однако поиски решений проводились в основном в практической плоскости и выражались в форме законов, постановлений, инструкций и других рекомендаций по защите от опасностей.

В последние годы специалистам и передовой общественности стало очевидно, что человекозащитную деятельность необходимо вести не только практически, но и на научной основе, создав прежде всего теоретические предпосылки к формированию новой области знания, которую сегодня определяют как «безопасность жизнедеятельности человека в техносфере».

При создании любой новой области знания краеугольным шагом является формирование принципов, понятий и терминов, описывающих научную область.

По современным представлениям, научные знания в БЖД опираются на следующие **основные принципы:**

I — ***принцип антропоцентризма*:** «Человек есть высшая ценность, сохранение и продление жизни которого является целью его существования».

Реализация этого принципа в БЖД означает приоритетную деятельность, направленную на сохранение здоровья и жизни человека при воздействии на него внешних причин. К ней относят такие направления исследований, как идентификацию опасностей и зон их действия, разработку и применение человекозащитных средств, контроль их состояния и т. п.

В то же время такие важные направления исследований и практические разработки, как средства и методы защиты окружающей природной среды, достижение высокой надежности технических систем и т. п. по отношению к науке о БЖД имеют прикладное значение.

Они используются лишь при установлении для технических объектов таких показателей, как допустимые отходы, допустимый техногенный риск.

II — ***принцип существования внешних воздействий на человека:*** «Человеческий организм всегда может подвергнуться внешнему воздействию со стороны какого-либо негативного фактора».

Из вышесказанного следует (см. введение), что на человека постоянно воздействуют внешние, различные по уровням потоки веществ, энергий и информаций. Вполне вероятно, что некоторые потоки будут способны причинять человеку ущерб здоровью или угрожать гибелью;

III — ***принцип возможности создания для человека безопасной среды обитания:*** «Создание комфортной и травмобезопасной для человека среды обитания принципиально возможно и достижимо при соблюдении в ней предельно допустимых уровней воздействия на человека».

Этот принцип указывает на возможность достижения качественной среды пребывания человека в техносфере и определяет пути ее достижения, основанные на соблюдении нормативных требований по допустимым внешним воздействиям на человека.

IV — ***принцип выбора путей реализации безопасного взаимодействия человека со средой обитания:*** «Безопасное взаимодействие человека со средой обитания достигается его адаптацией к опасностям, снижением их значимости и применением человеком защитных мер».

Содержание этого принципа очевидно, отметим лишь то, что все эти меры достижения безопасного взаимодействия человека со средой обитания могут быть использованы одновременно либо в каком-то сочетании. Например, практически всегда для достижения цели используют решения, направленные как на совершенствование источника опасности с целью достижения его негативного влияния, так и на применение комплекса защитных мер в зоне пребывания человека.

V — ***принцип отрицания абсолютной безопасности:*** «Абсолютная безопасность человека в среде обитания недостижима».

Этот принцип справедлив, поскольку, во-первых, на Земле всегда существуют естественные опасности, во-вторых, неизбежны антропогенные опасности и, в-третьих, практически неустранимы полностью и технические опасности. Во второй половине XX столетия в СССР среди значительной части ученых и практиков в области безопасности труда и промышленной безопасности стал часто встречаться лозунг: «*От техники безопасности к безопасной технике*», суть которого сводит решение всех проблем безопасности труда к созданию абсолютно надежной техники и технологий.

Неправомерность такого подхода очевидна, поскольку:

— абсолютно безопасной техники не существует. Любая техническая система обладает определенной надежностью и ее безопасность оценивается показателями технического риска;

— в работе большинства технических систем принимает участие оператор, обладающий способностью принимать иногда ошибочные решения;

— на любой технический объект всегда оказывается внешнее воздействие, способное в отдельных случаях нарушить его работу.

Таким образом, и техногенный риск полностью устранить нельзя, его можно лишь минимизировать. Антропогенные опасности также можно лишь минимизировать. По мнению С.К. Шойгу (АиФ, 2005, № 51, с. 6), «...более 50 % техногенных аварий происходит по причине так называемого человеческого фактора. В авиации — вообще 80 % и лишь 20 % — это отказ техники, некачественное топливо и метеоусловия».

VI — *принцип науки о БЖД*, во многом соответствующий принципу Ле-Шателье: «Эволюция любой системы идет в направлении снижения потенциальной опасности», гласит: «Рост знаний человека, совершенствование техники и технологии, применение защиты, ослабление социальной напряженности в будущем неизбежно приведут к повышению защищенности человека от опасностей».

Данный принцип указывает на позитивный вектор движения общества к решению проблем удовлетворения потребностей человека в его безопасности. Этот путь многовариантен и основан прежде всего на росте культуры общества в вопросах безопасности жизнедеятельности человека.

В современной науке о БЖД используют ряд установившихся понятий, прежде всего понятие системы «*человек — среда обитания*», которое составляет основу научного знания, именуемого «экологией». В БЖД оно также широко используется для описания процессов негативного взаимодействия человека (коллектива людей, населения города, региона, страны, планеты Земля, далее «человека») с окружающей его средой обитания.

В современном мире для человека характерны два полярных вида среды обитания — природная (биосфера) и техносфера (производственная, селитебная и бытовая). Для описания БЖД человека в техносфере характерен второй вид среды обитания.

Отличительной особенностью рассмотрения системы «человека — среда обитания» является реализация I принципа БЖД — принципа антропоцентризма.

Понятие *об основах взаимодействия в системе «человек — среда обитания»: «Взаимодействие человека со средой его обитания непрерывно по времени и основано на существовании потоков веществ, энергии и информации между элементами системы. Действующие потоки по отношению к каждому элементу системы являются внешними и могут восприниматься как комфортные, допустимые, опасные и чрезвычайно опасные».*

Комфортные и допустимые потоки не оказывают негативного влияния на здоровье человека, а опасные и чрезвычайно опасные угрожают человеку потерей здоровья или летальным исходом.

Понятие *«опасность» — свойство человека и компонент окружающей среды, способное причинять ущерб живой и неживой материи.* Опасности возникают при достижении внешними потоками вещества, энергии и/или информации значений, превышающих способность к их восприятию любым элементом системы «человек — среда обитания» без нарушения своей функциональной целостности, т. е. без причинения ущерба.

Применительно к БЖД термин «опасность» можно сформулировать таким образом: *«Опасность — негативное свойство среды обитания, приводящее человека к потере здоровья или к гибели».*

В определении понятия «опасность» формально отсутствует указание на необходимость совпадения координат и времени передачи опасных потоков от источника к объекту защиты. Но этого и не требуется, так как опасен весь материальный мир, окружающий человека, сообщества людей и т. п. Иными словами, вероятность проявления опасности по отношению к другим материальным объектам существует всегда и везде.

Понятие *«поле опасностей» — совокупность опасностей в пространстве около объекта защиты.* В среде обитания человека всегда существует поле опасностей. Поле опасностей в окружающей человека среде состоит из опасностей 1, 2, 3-го и т. д. кругов. Опасности 1-го круга угрожают непосредственно человеку (см. I принцип теории БЖД), опасности 2-го круга влияют в основном на опасности 1-го круга и т. д.

Понятие *«источник опасности» — это компоненты биосферы и техносферы, космическое пространство, социальные и иные структуры, излучающие опасность.* Для каждого источника опасности характерно наличие уровня, зоны и продолжительности действия опасности. Для описания источника опасности с позиций его негативного влияния на человека и среду обитания используют величину материальных отходов (выбросов, сбросов и отбросов), интенсивность энер-

гетических излучений, отходящих от источника в зону пребывания человека в биосферу и его техногенный риск.

Понятие *«защита от опасностей» — способы и методы снижения уровня и продолжительности действия опасностей на человека в среде обитания.* Принципиально защиту от опасностей реализуют снижением негативного влияния источников опасности (сокращением значения техногенного риска и размеров опасных зон), выведением человека из опасной зоны; применением экобиозащитной техники и средств индивидуальной защиты.

Понятие *«безопасность объекта защиты» — состояние объекта защиты, при котором воздействие на него потоков вещества, энергии и информации из окружающей среды не превышает максимально допустимых значений.*

Понятие *«средняя продолжительность жизни» (СПЖ) — показатель уровня здоровья и безопасности жизни человека в среде обитания.* СПЖ является интегральным параметром оценки взаимодействия человека с реальной средой обитания. На его значение существенно влияют многие факторы и прежде всего экономические показатели, уровни медицинского обслуживания и внешних факторов. СПЖ используют для оценки негативного влияния состояния среды обитания в отдельных государствах, городах, производствах в сравнении с лучшими достигнутыми показателями продолжительности жизни. В настоящее время наивысшие показатели продолжительности жизни в Японии.

Понятие *«условие реализации опасности» — реализация опасности возможна, если источник опасностей и объект защиты по координатам пребывания совпадают в пространстве и во времени.*

Ряд понятий, такие как *«жизнедеятельность», «среда обитания», «техносфера», «безопасность жизнедеятельности»* рассмотрены во введении к учебнику. Иные понятия, а также термины БЖД, призванные раскрыть содержание рассмотренных выше понятий, даны в гл. 1 при их непосредственном использовании в тесте и приведены в приложении.

1.2. ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА СО СРЕДОЙ ОБИТАНИЯ

Взаимодействие человека со средой обитания, как было показано во введении, основано на передаче между элементами системы ***потоков масс веществ и их соединений, энергий всех видов и информаций.***

Человеку эти потоки необходимы для удовлетворения своих потребностей в пище, воде, воздухе, солнечной энергии, информации об окружающей среде и для выделения в жизненное пространство по-

токов механической и интеллектуальной энергии, потоков масс в виде отходов биологического процесса, потоков тепловой энергии и др.

Обмен потоками вещества и энергии характерен и для процессов, происходящих без участия человека. Естественная среда обеспечивает поступление на нашу планету потоков солнечной энергии, что создает, в свою очередь, потоки растительной и животной массы в биосфере, потоки абиотических веществ (воздух, вода и др.), потоки энергии различных видов, в том числе и при стихийных явлениях.

Для техносферы характерны потоки всех видов сырья и энергии, многообразие потоков продукции; потоки отходов (выбросы в атмосферу, сбросы в водоемы, жидкие и твердые отбросы, различные энергетические воздействия). Отходы возникают в соответствии с ***Законом о неустранимости отходов и побочных воздействий производств:*** *«В любом хозяйственном цикле образуются отходы и побочные эффекты, они не устранимы и могут быть переведены из одной физико-химической формы в другую или перемещены в пространстве»*. Техносфера способна также создавать спонтанно значительные потоки масс и энергий при взрывах и пожарах, при разрушении строительных конструкций, авариях на транспорте и т. п.

Социальная среда потребляет и генерирует все виды потоков, характерные для человека как личности; кроме того, социум создает информационные потоки при передаче знаний, управлении обществом, сотрудничестве с другими общественными формациями. Социальная среда создает потоки всех видов, направленные на преобразование естественного и техногенного миров, формирует негативные явления в обществе, связанные с курением, потреблением алкоголя, наркотиков и т. п.

Характерные потоки масс, энергий и информации жизненного пространства следующие:

Потоки в естественной среде:

— солнечное излучение, излучение звезд и планет;

— космические лучи, пыль, астероиды;

— электрическое и магнитное поля Земли;

— круговороты веществ в биосфере в экосистемах, в биогеоценозах;

— потоки, связанные с атмосферными, гидросферными и литосферными явлениями, в том числе и со стихийными;

— другие.

Потоки в техносфере:

— потоки сырья, энергии;

— потоки продукции отраслей экономики;

— отходы экономики;
— информационные;
— транспортные;
— световые (искусственное освещение);
— потоки при техногенных авариях;
— другие.

Потоки в социальной среде:

— информационные (обучение, государственное управление, международное сотрудничество и т. п.);
— людские (демографический взрыв, урбанизация населения);
— потоки наркотических средств, алкоголя и др.;
— другие.

Потоки, потребляемые и выделяемые человеком в процессе жизнедеятельности:

— потоки кислорода, воды, пищи и иных веществ (алкоголь, табак, наркотики и т. п.);
— потоки энергии (механической, тепловой, солнечной и др.);
— информации;
— потоки отходов процесса жизнедеятельности;
— другие.

1.3. ПАРАМЕТРЫ И ВИДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКОВ НА ЧЕЛОВЕКА

В любой точке жизненного пространства с координатами x, y, z массовые, энергетические и информационные потоки могут оказывать воздействие E. Это воздействие на объект (человек и др.) определяется его интенсивностью I и длительностью экспозиции τ, т. е.

$$E(x,\ y,\ z) = f(I,\ \tau). \qquad (1.1)$$

Интенсивность потоков определяют по формулам:

— для потоков вещества $I_в = G/(F\tau)$, г/(м^2 · с);
— для потоков энергии $I_э = Q/(F\tau)$, Дж/(м^2 · с) или Вт/м^2;
— для потоков информации $I_и = И/\tau$, бит/с,

где G — масса вещества, г; F — площадь поперечного сечения потока, м^2; Q — количество энергии в потоке, Дж; $И$ — количество информации в двоичных знаках.

Потоки энергии и информации воздействуют на человека непосредственно, поэтому их влияние оценивают величинами $I_э$ и $I_и$, а потоки веществ практически всегда воздействуют на человека через изменение концентрации этих веществ в жизненном пространстве. В этом случае допустимое количество i-го вещества G_i, которое мож-

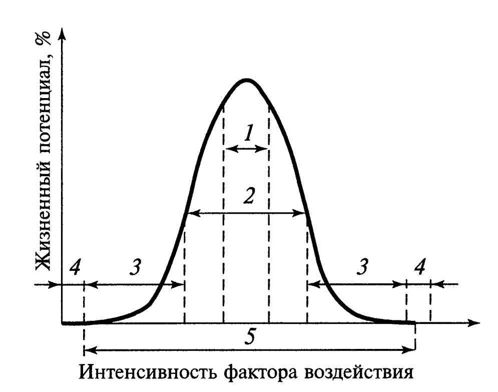


Рис. 1.1. Зависимость жизненного потенциала от интенсивности фактора воздействия:

1 — зона оптимума (комфорта); *2* — зона допустимой жизнедеятельности; *3* — зона угнетения; *4* — зона гибели; *5* — зона жизни

но ввести в объем V помещения из условия отсутствия в нем недопустимого загрязнения i-м веществом, определяют по формуле

$$G_i \leq (\text{ПДК}_i - \text{С}_{\text{ф}i})V, \tag{1.2}$$

где ПДК_i — предельно допустимая концентрация i-го вещества в помещении; $C_{\text{ф}i}$ — фоновое (начальное) загрязнение помещения i-м веществом.

Американский зоолог В. Шелфорд в начале XX в. сформулировал *закон толерантности:* «Лимитирующим фактором процветания популяции (организма) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, а диапазон между ними определяет величину выносливости (предел толерантности) организма к заданному фактору» (рис. 1.1).

Толерантность — способность организма переносить неблагоприятное влияние того или иного фактора среды.

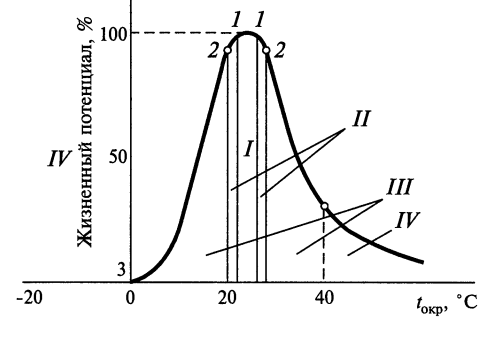
Зона оптимума с точкой комфорта (точка максимума — жизненного потенциала) и зоны допустимых значений фактора воздействия являются областью нормальной жизнедеятельности, а зоны с большими отклонениями фактора от оптимума — зонами угнетения. Пределы толерантности по фактору воздействия совпадают со значениями минимума и максимума фактора, за пределами которых существование организма невозможно (это — зона гибели).

Проиллюстрируем сказанное.

Пример 1. В естественных условиях на поверхности Земли температура атмосферного воздуха изменяется от – 88 до + 60 °С, в то время как температура внутренних органов человека за счет терморегуляции его организма сохраняется комфортной, близкой к 37 °С. При выполнении тяжелых работ и высокой температуре окружающего воздуха температура тела может повышаться на 1...2 °С. Наивысшая

Рис. 1.2. Зависимость жизненного потенциала человека от температуры окружающего воздуха при длительном выполнении легких работ:

I — зона комфорта, $t_{окр}$ = 21 – 23°С; *II* — зона допустимых температур, $t_{окр}$ > 17 и $t_{окр}$ < 26 °С; *III* — опасная зона, $t_{окр}$ от 26 до 40 °С, $t_{окр}$ < 17 °С; *IV* — зона чрезвычайной опасности, $t_{окр}$ > 40 °С и $t_{окр}$ < 0 °С *1* — граница зоны комфортности; *2* — граница допустимой зоны



температура внутренних органов, которую выдерживает человек, — + 43 °С, минимальная — + 24 °С.

Температура воздуха в рабочих и жилых помещениях, на улицах и в природных условиях существенно влияет на состояние организма человека, изменяя его жизненный потенциал. При низких температурах нам холодно, при высоких — жарко. При температуре воздуха более 30 °С работоспособность человека значительно падает.

Установлено, что у человека существует зависимость комфортных температур окружающей среды от категории тяжести выполняемых работ (легкая, средняя, тяжелая), от периода года и некоторых других параметров микроклимата. Так, для человека, выполняющего легкую работу, комфортная температура (зона *I*, рис. 1.2) летом составляет 23...25 °С, зимой – 22...– 24 °С; для человека, занимающегося тяжелым физическим трудом, летом — 18...– 20 С, зимой – 6...– 18 °С. На рис. 1.2 показана зависимость жизненного потенциала человека от изменения температуры окружающего его воздуха при длительном выполнении легких работ.

Отклонения температуры среды от комфортных значений на 2...5 °С (зона *II)* считаются допустимыми, поскольку не оказывают влияния на здоровье человека, а лишь уменьшают производительность его деятельности.

Дальнейшие отклонения температуры окружающего воздуха от допустимых значений (зона *III*) сопровождаются тяжелыми воздействиями на организм человека и ухудшением его здоровья (нарушение дыхания, сердечной деятельности и др.).

При еще больших отклонениях температуры окружающего воздуха от допустимых значений (зона *IV*) возможен перегрев (гипертермия) или переохлаждение (гипотермия) организма человека, а также получение им тепловых или холодовых травм.

Необходимо отметить, что классическая кривая Шелфорда имеет отношение только к природным факторам воздействия (например,

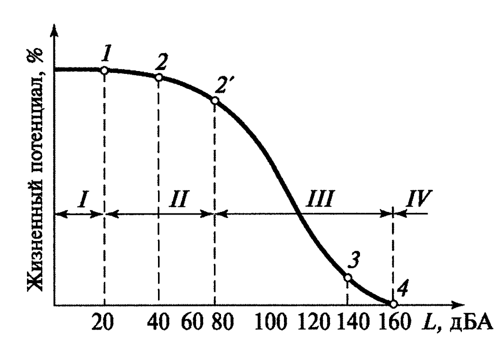


Рис. 1.3. Зависимость жизненного потенциала человека от воздействия на него акустических колебаний:

I — зона комфорта; *II* — зона допустимых воздействий; *III* — опасная зона; *IV* — зона чрезвычайной опасности

температура окружающей среды). Факторы, полностью чуждые организму, могут иметь зону комфортности вблизи нуля интенсивности и только один максимальный предел воздействия. Это хорошо иллюстрирует процесс влияния акустических колебаний на организм человека.

Пример 2. Интенсивность акустических колебаний I в атмосферном воздухе (интенсивность звука) зависит от мощности P, Вт, источника звука, расстояния R от источника до объекта воздействия (человека) и свойств среды (воздуха), в которой эти колебания распространяются. В этом случае $I = (P \cdot Ф)/(\pi R^2 \cdot К)$, Вт/м^2, где Ф — фактор направленности излучения звука; К — коэффициент, учитывающий уменьшение интенсивности звука на пути его распространения за счет затухания в воздухе и на различных препятствиях: в воздухе К = 1 при расстояниях до 50 м и при отсутствии препятствий.

Уровень звука обычно выражают в дБА и определяют по формуле $L = 10 \lg I/I_0$, где $I_0 = 10^{-12}$, Вт/м^2.

Реальные уровни звука в местах возможного пребывания человека могут изменяться в весьма широких пределах от 0 до 160 дБА и сопровождаются широкой гаммой ответных реакций организма человека (рис. 1.3).

При уровнях звука до 20 дБА человек чувствует себя комфортно (точка *1*), не реагируя негативно на наличие звуков в окружающей его среде; уровни звука до 50 дБА (точка *2*) не влияют на здоровье человека, занимающегося интеллектуальной деятельностью, а у людей, связанных с физическим трудом, верхняя граница может быть расширена до 80...85 дБА (точки *2′*). Эти значения уровня звука (точка *2* и *2′*) соответствуют предельно допустимым условиям воздействия звука на человека в процессе его деятельности.

Дальнейший рост уровня звука свыше 85 дБА при длительных его экспозициях (до нескольких лет) может приводить к тугоухости, а при уровнях звука 140 дБА (точка *3*) и выше возможно травмирова-

ние человека из-за разрыва барабанных перепонок или контузии. При уровнях 160 дБА (точка *4*) может наступить смерть человека.

Из рассмотренного выше следует, что, изменяя потоки в среде обитания, можно получить ряд характерных ситуаций взаимодействия в системе «человек — среда обитания», а именно:

— *комфортное* (оптимальное), когда потоки соответствуют оптимальным условиям взаимодействия: создают оптимальные условия деятельности и отдыха; предпосылки для проявления наивысшей работоспособности и, как следствие, продуктивности деятельности; гарантируют сохранение здоровья человека и целостности компонент среды обитания;

— *допустимое,* когда потоки, воздействуя на человека и среду обитания, не оказывают негативного влияния на здоровье, но приводят к дискомфорту, снижая эффективность деятельности человека. Соблюдение условий допустимого взаимодействия гарантирует невозможность возникновения и развития необратимых негативных процессов у человека и в среде обитания;

— *опасное*, когда потоки превышают допустимые уровни и оказывают негативное воздействие на здоровье человека, вызывая при длительном воздействии заболевания, и/или приводят к деградации природной среды;

— *чрезвычайно опасное,* когда потоки высоких уровней за короткий период времени могут нанести травму, привести человека к летальному исходу, вызвать разрушения в среде обитания. Гибель организма происходит при значениях фактора воздействия, лежащих вне зоны толерантности, ее можно рассматривать как процесс распада организма на простые подсистемы.

На основании вышеизложенного можно сформулировать ***аксиому о воздействии среды обитания на человека:*** *«воздействие среды обитания на человека может быть позитивным или негативным, характер воздействия определяют параметры потоков веществ, энергий и информаций».*

Отметим, что применительно к любому живому телу аксиому о воздействии среды обитания на тело следует формировать так: *«воздействие среды обитания на живое тело может быть позитивным или негативным, характер воздействия определяют параметры потоков и способность живого тела воспринимать эти потоки».*

Из четырех характерных состояний взаимодействия человека со средой обитания лишь первые два (комфортное и допустимое) соответствуют позитивным условиям повседневной жизнедеятельности, а два других (опасное и чрезвычайно опасное) недопустимы для процессов жизнедеятельности человека.

При анализе процесса воздействия опасностей в системе «человек—техносфера» следует учитывать:

— аксиому об одновременном воздействии опасностей;

— наличие совокупного воздействия опасностей на объект защиты.

Аксиома об одновременном воздействии опасностей утверждает: *«Потоки вещества, энергии и информации, генерируемые их источниками, не обладают избирательностью по отношению к объектам защиты и одновременно воздействуют на человека, природную среду и техносферу, находящихся в зоне их влияния».*

Из этой аксиомы следует, например, что вибрация любого здания одновременно воздействует на людей, строительные материалы и конструкции, на коммуникации и устройства, находящиеся в нем. Здесь необходимо отметить, что результат воздействия вибрации одной интенсивности на все находящиеся в здании объекты может быть различным (опасным или неопасным) и полностью определяется способностью объекта защиты (человек, коммуникация и т. п.) к восприятию возникшей в этом здании вибрации.

При оценке воздействия опасностей на объект защиты необходимо также учитывать, что любой объект воспринимает одновременно все потоки вещества, энергии и информации, поступающие в зону его пребывания в соответствии с ***аксиомой о совокупном воздействии опасностей:*** *«На любой объект защиты одновременно воздействуют все потоки, поступающие из вне в зону его пребывания».*

Таким образом, для современного состояния системы «человек — техносфера» характерны два вида негативных ситуаций, связанных с воздействием опасностей на человека:

I ситуация — длительное воздействие постоянных или переменных опасностей ограниченной интенсивности в локальных, региональных и глобальных зонах. Сюда входят ситуации, связанные с длительным действием опасностей на производстве, в быту и в городе, а также действия глобальных опасностей (потепление климата, разрушение озонового слоя, кислотные дожди, повышение радиоактивного фона атмосферы);

II ситуация — кратковременные воздействия импульсных опасностей высокой интенсивности в локальных, максимум в региональных зонах. Сюда входят ситуации, связанные с техногенными авариями, катастрофами и стихийными бедствиями.

1.4. ОПАСНОСТИ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Опасность — свойство человека и компонент окружающей среды, способные причинять ущерб живой и неживой материи. При оценке условий возникновения и реализации опасностей важно понимать,

что опасное воздействие возможно лишь в системе «источник опасности — объект защиты», а признание потока воздействия опасным зависит не только от его параметров, но и от способности объекта защиты воспринимать тот или иной поток вещества, энергии или информации. Например, при воздействии шума на человека его защитные свойства зависят не только от физиологической способности переносить акустическое воздействие, но и от некоторых иных факторов. Поэтому один и тот же источник шума, например, с уровнем звука 55 дБА не создает опасной ситуации для рабочего механического цеха, но является опасным для человека интеллектуального труда (допустимое значение уровня звука в этом случае 45 дБА) или для человека в зоне отдыха (25 дБА).

Таким образом, опасности возникают и реализуются только при воздействии источника опасности на объект защиты в условиях, когда параметры потоков воздействия превышают способность объекта защиты к их восприятию с сохранением своей целостности.

Классификация (таксономия) опасностей. По происхождению опасности делят на естественные, техногенные и антропогенные.

Естественные опасности обусловлены климатическими и природными явлениями. Они возникают при изменении погодных условий и естественной освещенности в биосфере, а также от стихийных явлений, происходящих в биосфере (наводнения, землетрясения и т. д.).

Негативное воздействие на человека и среду обитания, к сожалению, не ограничивается естественными опасностями. Человек, решая задачи достижения комфортного и материального обеспечения, непрерывно воздействует на среду обитания своей деятельностью и продуктами деятельности (техническими средствами, выбросами различных производств и т. п.), генерируя в среде обитания *техногенные* и *антропогенные опасности*.

Техногенные опасности создают элементы техносферы — машины, сооружения, вещества.

В перечень техногенных, реально действующих опасностей значителен и включает более 100 видов. К распространенным, имеющим достаточно высокий уровень опасности, относятся производственные опасности: запыленность и загазованность воздуха, шум, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения, повышенные или пониженные параметры атмосферного воздуха (температуры, влажности, подвижности воздуха, давления), недостаточное и неправильное освещение, монотонность деятельности, тяжелый физический труд и др., а к травмирующим (травмоопасным) относят-

ся: электрический ток, падающие предметы, высота, движущиеся машины и механизмы, части разрушающихся конструкций и др.

В быту нас сопровождает также большая гамма негативных факторов: воздух, загрязненный продуктами сгорания природного газа, выбросами ТЭС, промышленных предприятий, автотранспорта и мусоросжигающих устройство; вода с избыточным содержанием вредных примесей; недоброкачественная пища; шум, инфразвук; вибрации; электромагнитные поля от бытовых приборов, телевизоров, дисплеев, ЛЭП, радиорелейных устройств; ионизирующие излучения (естественный фон, медицинские обследования, фон от строительных материалов, излучения приборов, предметов быта); медикаменты при избыточном и неправильном потреблении; табачный дым; бактерии, аллергены и др.

Антропогенные опасности возникают в результате ошибочных или несанкционированных действий человека или групп людей.

По видам потоков в жизненном пространстве опасности делят на массовые, энергетические и информационные, а по интенсивности потоков в жизненном пространстве на *опасные* и *чрезвычайно опасные*.

Опасные потоки обычно превышают предельно допустимые потоки не более чем в разы. Например, если говорят, что концентрация i-го газа в атмосферном воздухе составляет < 10 ПДК, то подразумевают, что эта опасная ситуация и что она угрожает человеку не только потерей здоровья.

В тех случаях, когда уровни потоков воздействия выше границ толерантности, ситуацию считают чрезвычайно опасной. Обычно она характерна для аварийных зон или зон стихийного бедствия. В этих случаях концентрация примесей или уровни излучений на несколько порядков превышают ПДК или ПДУ и реально угрожают человеку летальным исходом.

По длительности воздействия опасности классифицируют на постоянные, переменные (в том числе периодические) и импульсные. *Постоянные* (действуют в течение рабочего дня, суток) опасности, как правило, связаны с условиями пребывания человека в производственных и бытовых помещениях, с его нахождением в городской среде или в промышленной зоне. *Переменные* опасности характерны для условий реализации циклических процессов: шум в зоне аэропорта или около транспортной магистрали; вибрация от средств транспорта и т. п. Импульсное, или кратковременное, воздействие опасности характерно для аварийных ситуаций, а также при залповых выбросах, например при запуске ракет. Многие стихийные явления, например гроза, сход лавин и т. п., также относят к этой категории опасностей.

По видам зоны воздействия опасности делят на производственные, бытовые, городские (транспортные и др.), зоны ЧС. *По размерам зоны воздействия* опасности классифицируют на локальные, региональные, межрегиональные и глобальные.

Как правило, бытовые и производственные опасности являются локальными, ограниченными размерами помещения, а такие воздействия, как потепление климата (парниковый эффект) или разрушение озонового слоя Земли, являются глобальными.

Опасности иногда воздействуют одновременно на территории и население двух и более сопредельных государств. В этом случае опасные зоны и опасности становятся межрегиональными, а поскольку источники опасности, как правило, расположены только на территории одного из государств, то возникают ситуации, приводящие к трудностям политического характера, возникающим при ликвидации последствий этих аварий.

По степени завершенности воздействия опасности на объекты защиты делят на потенциальные, реальные и реализованные.

Потенциальная опасность представляет угрозу общего характера, не связанную с пространством и временем воздействия. Например, в выражениях «шум вреден для человека», «углеводородные топлива — пожаровзрывоопасны» говорится только о потенциальной опасности для человека шума и горючих веществ.

Наличие потенциальных опасностей находит свое отражение в утверждении, что «жизнедеятельность человека потенциально опасна», следующего из II и IV принципов БЖД. Оно предопределяет, что все действия человека и все компоненты среды обитания, прежде всего технические средства и технологии, кроме позитивных свойств и результатов, обладают способностью генерировать травмирующие и вредные факторы. При этом любое новое позитивное действие человека или его результат неизбежно приводят к возникновению новых негативных факторов.

Реальная опасность всегда связана с конкретной угрозой воздействия на объект защиты (человека); она координирована в пространстве и во времени. Например, движущаяся по шоссе автоцистерна с надписью «Огнеопасно» представляет собой реальную опасность для человека, находящегося около автодороги. Как только автоцистерна исчезает из зоны пребывания человека, она становится по отношению к этому человеку источником потенциальной опасности.

Реальная опасность O может быть описана выражением (1.1) в виде

$$O(x,\ y,\ z) = f(I,\ \tau) \text{ при } O > E_{\text{ПДК}}, \tag{1.3}$$

где $E_{\text{ПДК}}$ — предельно допустимое значение фактора воздействия.

Реализованная опасность — факт воздействия реальной опасности на человека и/или среду обитания, приведший к потере здоровья или к летальному исходу человека, к материальным потерям. Если взрыв автоцистерны привел к ее разрушению, гибели людей и/или возгоранию строений, то это реализованная опасность.

Реализованные опасности принято разделять на происшествия, чрезвычайные происшествия, аварии, катастрофы и стихийные бедствия.

Происшествие — событие, состоящее из негативного воздействия с причинением ущерба людским, природным и/или материальным ресурсам.

Чрезвычайное происшествие (ЧП) — событие, происходящее обычно кратковременно и обладающее высоким уровнем негативного воздействия на людей, природные и материальные ресурсы. К ЧП относятся крупные аварии, катастрофы и стихийные бедствия.

Авария — происшествие в технической системе, не сопровождающееся гибелью людей, при котором восстановление технических средств невозможно или экономически нецелесообразно.

Катастрофа — происшествие в технической системе, сопровождающееся гибелью людей.

Стихийное бедствие — происшествие, связанное со стихийными явлениями на Земле и приведшее к разрушению биосферы, техносферы, к гибели или потере здоровья людей.

В результате возникновения ЧП на объектах экономики, в регионах и на иных территориях могут возникать чрезвычайные ситуации.

Чрезвычайная ситуация (ЧС) — состояние объекта территории или акватории, как правило после ЧП, при котором возникает угроза жизни и здоровья для группы людей, наносится материальный ущерб населению и экономике, деградирует природная среда.

Еще одной особенностью процесса взаимодействия опасности и человека является *способность человека к избирательной идентификации опасностей*. Ряд опасных воздействий (вибрация, шум, нагрев, охлаждение и т. д.) человек идентифицирует с помощью органов чувств. В то же время такие опасные воздействия, как инфразвук, ультразвук, электромагнитные поля и излучения, радиация и др. не идентифицируются человеком. Поэтому все опасности по способности человека выявлять их органами чувств можно классифицировать на различаемые и неразличаемые.

По воздействию опасностей на человека их принято разделять на вредные и травмоопасные факторы.

Вредный фактор — негативное воздействие на человека, которое приводит к ухудшению самочувствия или заболеванию.

Травмирующий (травмоопасный) фактор — негативное воздействие на человека, которое приводит к травме или летальному исходу.

В ГОСТ 12.0.002—80* все производственные факторы делят на опасные и вредные. Это весьма дискуссионно, так как ГОСТ предполагает, что вредный фактор не опасен.

По численности лиц, подверженных воздействию опасности, принято делить на индивидуальные, групповые и массовые.

Классификация представляет собой первую попытку систематизации опасностей в науке о безопасности жизнедеятельности человека в техносфере (табл. 1.1). Основу классификации составляют две группы признаков: 1 — виды источников опасности, их параметры и зоны воздействия потоков (п. 1—7); 2 — свойства объекта защиты (п. 8—10).

Таблица 1.1. **Классификация опасностей**

№ п/п	Признак классификации	Вид (класс)
1	По происхождению	Естественные
		Антропогенные
2	По видам потоков	Техногенные
		Массовые
		Энергетические
		Информационные
3	По интенсивности потоков	Опасные
		Чрезвычайно опасные
4	По длительности действия	Постоянные
		Переменные, периодические
		Импульсные, кратковременные
5	По видам зон воздействия	Производственные
		Бытовые
		Городские (транспортные и др.)
		Зоны ЧС
6	По размерам зоны воздействия	Локальные
		Региональные
		Межрегиональные
		Глобальные
7	По степени завершенности процесса воздействия опасности	Потенциальные
		Реальные
		Реализованные

№ п/п	Признак классификации	Вид (класс)
8	По избирательной идентификации опасности органами чувств человека	Различаемые, неразличаемые
9	По воздействию на человека	Вредные, травмоопасные
10	По численности людей, подверженных опасному воздействию	Индивидуальные
		Групповые (коллективные)
		Массовые

1.5. ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННОЕ ПОЛЕ ОПАСНОСТЕЙ

Мир опасностей, угрожающих личности, весьма широк и непрерывно нарастает. В производственных, городских, бытовых условиях на человека воздействует одновременно, как правило, несколько негативных факторов. Комплекс негативных факторов, действующих в пространстве в конкретный момент, зависит от текущего состояния системы «человек — среда обитания» и образует так называемое «поле опасностей».

Поле воздействия опасностей на человеческий организм целесообразно представлять в виде совокупности факторов первого, второго, третьего и иных кругов, расположенных вокруг человеческого организма. При этом считается, что основное влияние на организм оказывают факторы первого круга, а факторы второго круга влияют в основном на факторы первого круга и т. д. Характерное построение причинно-следственного поля опасностей в современной техносфере предложено в работе [8] и показано на рис. 1.4.

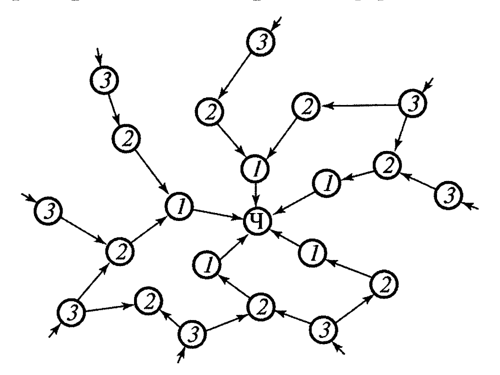


Рис. 1.4. Схематическое изображение причинно-следственного поля, в котором находится человек (Ч):

1, 2, 3 — опасности; *1 2, 3* — кругов

В состав *первого круга* опасностей, непосредственно действующих на человека и сообщество людей, входят:

— опасности, связанные с климатическими и погодными изменениями в атмосфере и гидросфере;

— опасности, возникающие из-за отсутствия естественной освещенности земной поверхности солнечным излучением;

— опасности, обусловленные содержанием вредных примесей в атмосферном воздухе, в воде и продуктах питания;

— опасности, возникающие в селитебных зонах, а также на объектах экономики при реализации технологических процессов и эксплуатации технических средств как за счет несовершенства техники, так и за счет ее нерегламентированного использования операторами технических систем и населением в быту;

— чрезвычайные опасности, возникающие при стихийных явлениях и техногенных авариях, в селитебных зонах и на объектах экономики;

— опасности, возникающие из-за недостаточной подготовки работающих и населения по вопросам безопасности жизнедеятельности.

Основные причины возникновения опасностей *второго круга* обусловлены наличием отходов производства и быта, недостаточным вниманием общества к требованиям безопасности при разработке технических средств, технологических процессов и производств, при проектировании и строительстве производственных и бытовых помещений, зданий; слабой подготовкой руководителей производства в вопросах безопасности проведения работ. Второй круг опасностей воздействует непосредственно на источники опасностей первого круга. В него входят:

— отходы объектов экономики и быта, негативно воздействующие на компоненты природной среды и элементы техносферы;

— технические средства, материальные и энергетические ресурсы, здания и сооружения, обладающие недостаточным уровнем безопасности;

— недостаточная подготовка руководителей производства по вопросам обеспечения безопасности проведения работ.

Опасности *третьего круга* не всегда выражены достаточно четко. Однако сюда можно отнести:

— отсутствие необходимых знаний и навыков у разработчиков при проектировании технологических процессов, технических систем, зданий и сооружений;

— отсутствие эффективной государственной системы руководства вопросами безопасности в масштабах отрасли экономики или всей страны;

— недостаточное развитие системы подготовки научных и руководящих кадров в области безопасности жизнедеятельности и др.

Разделение ноксосферы (причинно-следственное поле опасностей) на отдельные круги опасностей является достаточно условным, но весьма важным с позиции оценки причин негативного влияния опасностей на людей. При анализе ситуации нужно руководствоваться следующим: пренебрежение требованиями безопасности в их первом круге сопровождается, как правило, травмами, отравлениями или заболеваниями человека или группы людей; пренебрежение требованиями безопасности на втором круге опасностей, как правило, отдаляет по времени негативные последствия, но увеличивает масштабы их воздействия на людей (массовые отравления при загрязнении биоресурсов отходами, гибель людей при обрушении строительных конструкций и т. п.). Действие источников опасностей третьего круга обычно широкомасштабно. Так, например, применение этилированного бензина в ДВС, санкционированное государством, губительно для населения городов отдельных стран и континентов; принятие решения о переработке радиоактивных отходов в России таит опасность для населения многих регионов нашей страны и т. д.

В настоящее время комплексная оценка реальных ситуаций с использованием представлений о причинно-следственном поле опасностей, действующих на промышленном предприятии, в техносферном регионе и т. п., практически не проводится из-за отсутствия теоретических и практических решений в этой области знания о БЖД. Это задача ближайшего будущего, входящая в комплекс ситуационных научных исследований в области обеспечения безопасности жизнедеятельности современного человека в техносфере.

1.6. ОБЪЕКТЫ И ЗОНЫ ЗАЩИТЫ, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ИХ СОСТОЯНИЯ

Объекты и зоны защиты. Поскольку в БЖД всегда реализуется принцип антропоцентризма, то при анализе и синтезе проблем безопасности жизнедеятельности человеческий организм всегда является центром, относительно которого рассматривается любое опасное воздействие.

Непосредственно как объект защиты человек рассматривается при воздействии на него травмоопасных факторов. При воздействии на человека вредных факторов за объект защиты часто принимают рабочую зону человека, производственное помещение, зону города, ре-

гиона, квартиры и т. п. В этом случае объектом защиты становится зона пребывания человека, и все задачи обеспечения безопасности жизнедеятельности человека сводятся к обеспечению комфортного или допустимого состояния этих зон.

Критерии количественной оценки опасностей. Для (квантификации) опасностей в зонах защиты используют критерии комфортности и травмобезопасности, а также показатели негативного влияния опасностей.

Основное условие безопасности в зоне пребывания человека имеет вид

$$П \leq ПДП, \qquad (1.4)$$

где П — показатель опасности; ПДП — предельно допустимое значение показателя.

Критерии комфортности. Зоны пребывания человека считаются безопасными, если в них не превышены нормативные требования по параметрам микроклимата, по освещению, предельно допустимым концентрациям загрязняющих веществ в компонентах среды обитания (воздух, вода, пищевые продукты), предельно допустимым интенсивностям энергетического излучения и т. д.

В качестве критериев комфортности по параметрам микроклимата установлены значения температуры воздуха в помещениях, его влажности и подвижности (табл. 1.2).

Таблица 1.2. **Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.4.548—96**

Период работы	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °C		Температура поверхностей, °C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia (до 139)	20,0—21,9	24,1—25,0	19,0—26,0	15—75	0,1	0,1
	Iб (140—174)	19,0—20,9	23,1—24,0	18,0—25,0	15—75	0,1	0,2
	Ia (175—232)	17,0—18,9	21,1—23,0	16,0—24,0	15—75	0,1	0,3
	Iб (233—290)	15,0—16,9	19,1—22,0	14,0—23,0	15—75	0,2	0,4
	III (более 290)	13,0—15,9	18,1—21,0	12,0—22,0	15—75	0,2	0,4

Период работы	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Теплый	Iа (до 139)	21,0—22,9	25,1—28,0	20,0—29,0	15—75	0,1	0,2
	Iб (140—174)	20,0—21,9	24,1—28,0	19,0—29,0	15—75	0,1	0,3
	Iа (175—232)	18,0—19,9	22,1—27,0	17,0—28,0	15—75	0,1	0,4
	Iб (233—290)	16,0—18,9	21,1—27,0	15,0—28,0	15—75	0,2	0,5
	III (более 290)	15,0—17,9	20,1—26,0	14,0—27,0	15—75	0,2	0,5

В качестве критериев комфортности по освещению установлены нормативные требования к естественному и искусственному освещению помещений и территорий (табл. 1.3).

Таблица 1.3. **Нормы освещенности по СанПиН 2.2.1/1278—03 для жилых помещений (извлечение)**

Помещение жилого здания	КЕО* при боковом освещении, %	Рекомендуемая освещенность рабочих поверхностей при искусственном освещении, $E_{мин}$, лк
Жилые комнаты, гостиные, спальни	0,5	150
Кухни, кухни-столовые	0,5	150
Детские	0,5	200
Кабинеты	1,0	300
Внутриквартирные коридоры, холлы	—	50
Ванные комнаты, санузлы	—	50

КЕО* — коэффициент естественного освещения.

Применительно к ситуации с загрязнением компонент среды обитания различными веществами условие комфортности (1.4) имеет вид

$$C_i \le ПДК_i, \qquad (1.5)$$

где C_i — концентрация i-го вещества в жизненном пространстве; $ПДК_i$ — предельно допустимая концентрация i-го вещества в жизненном пространстве.

Так, например, в воздухе рабочей зоны содержание вредных веществ не должно превышать установленных ГОСТ 12.1.005—88, ГН 2.2.25.1313—03 и ГН 2.2.5.1314—03 значений. В качестве примера в табл. 1.4 приведены ПДК некоторых веществ в воздухе рабочей зоны.

Таблица 1.4. **Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005—88 (извлечение)**

Наименование вещества	$ПДК_{рз}$, мг/м^3	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности
Азота диоксид	2	п	3
Алюминий и его сплавы	2	а	3
Ангидрид серный	1	а	3
Ангидрид сернистый (диоксид серы)	1	а	2
Бензол+	15/5	а	2
Бенз(а)пирен	0,00015	а	1
Водород фтористый (в пересчете на фтор)	0,5/0,1	п	1
Медь	1/0,5	п	2
Никеля карбонид	0,0005	п	1
Ртуть металлическая	0,01/0,005	п	1
Свинец и его неорганические соединения (по Pb)	0,01/0,005	а	1
Оксид углерода*	20	п	4

*При длительности работы не более 1 ч. В атмосфере, содержащей оксид углерода, его концентрация может достигать 50 мг/м^3; при длительности работы не более 30 мин — до 100 мг/м^3; 15 мин — 200 мг^3. Повторные работы при условии повышенного содержания оксида углерода в рабочей зоне могут производиться с перерывом не менее 2 ч.

Примечания:

1. Значения ПДК приведены по состоянию на 01.01.88. Если в графе приведены две величины, то это означает, что в числителе дана максимальная, а в знаменателе — среднесменная ПДК.
2. Условные обозначения: п — пары и (или) газы; а — аэрозоль.

\+ — требуется специальная защита кожи и глаз.

В зависимости от свойств загрязнителя и вида зоны защиты ограничения на действующие в них потоки могут обладать определенной спецификой. Так, для оценки качества атмосферного воздуха в населенных пунктах регламентированы два вида допустимых концентраций: максимально разовая ($ПДК_{мр}$) и среднесуточная ($ПДК_{сс}$). Концентрация (C) каждого вредного вещества в приземном слое атмо-

сферы не должна превышать максимально разовой предельно допустимой концентрации, т. е. $C \leq ПДК_{мр}$ при ее экспозиции не более 20 мин. Если время воздействия вредного вещества превышает 20 мин, то необходимо соблюдать $C \leq ПДК_{сс}$. Некоторые значения $ПДК_{мр}$ и $ПДК_{сс}$ приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5. **Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ (мг/м^3) в атмосферном воздухе населенных мест (извлечения из ГН 2.1.6695—98)**

Наименование вещества	$ПДК_{мр}$	$ПДК_{сс}$	Класс опасности
Диоксид азота	0,085	0,04	2
Оксид азота	0,6	0,06	3
Бенз(а)пирен	—	0,1 мкг/100 м^3	1
Бензол	1,5	0,1	2
Диоксид серы	0,5	0,05	3
Неорганическая пыль	0,15	0,05	3
Свинец, его соединения, кроме тетраэтиленсвинца (в пересчете на Pb)	—	0,0003	1
Оксид углерода	5	3	4

В реальных городских (региональных и т. п.) условиях атмосферный воздух практически всегда оказывается одновременно загрязненным несколькими веществами. Совместное негативное влияние загрязняющих воздух веществ оценивают *индексом загрязнения атмосферы* (ИЗА). Для каждого i-го вещества $ИЗА_i = k_i (C_i / ПДК_{сс_i})$, где k_i — коэффициент, равный 1,7, для веществ I класса; 1,3 — для веществ II класса; 1,0 — для веществ III класса и 0,9 — для IV класса; C_i — текущая концентрация i-го вещества в атмосфере, $ПДК_i$ — предельно допустимая среднесуточная концентрация i-го вещества.

Обычно интегральную оценку загрязненности атмосферы в городах ведут по пяти наиболее опасным веществам, для чего рассчитывают значения $ИЗА_5$ по формуле

$$ИЗА_5 = \sum_{1}^{5} k_i \frac{C_i}{ПДК_{сс_i}}.$$

В соответствии с существующими методами оценки уровень загрязнения атмосферного воздуха в городах считается низким при ИЗА = 0—4; повышенным — при 5—6; высоким — при 7—13; очень высоким — при ≥ 14.

В 2003 г., по данным Росгидромета, число городов с высоким и очень высоким уровнем загрязнения непрерывно росло:

Годы	1999	2000	2001	2002	2003
Число городов	90	98	115	130	145

ИЗА ≥ 14 отмечено в 25 %, а ИЗА = 7—13 — 49 % городов, где проживают соответственно 18 и 42 % населения России.

При загрязнении среды обитания потоками энергии условие комфортности (1.4) принимает вид

$$I_i \leq ПДУ_i, \quad (1.6)$$

где I_i — интенсивность i-го потока энергии; $ПДУ_i$ — предельно допустимый уровень интенсивности i-го потока энергии.

Конкретные значения ПДУ устанавливаются государственными нормативными актами. Так, применительно к условиям загрязнения производственной и окружающей среды электромагнитными излучениями радиочастотного диапазона действуют Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4/2,1.8:055—96.

Критерии травмобезопасности. Воздействие травмоопасных факторов на человека или группу (коллектив, население города и т. п.) людей оценивают величиной индивидуального или социального риска принудительной потери жизни, рассматривая риск как вероятность возникновения или реализации опасности (концепция риска как угрозы для человека [5]). Это происходит в тех случаях, когда потоки масс и/или энергий от источника негативного воздействия в жизненном пространстве нарастают стремительно и достигают чрезмерно опасных для человека значений (например, при авариях). Риск негативного воздействия на человека в жизненном пространстве обычно связан с развитием чрезвычайных происшествий природного и/или техногенного характера.

Риск — вероятность реализации негативного воздействия (воздействие опасности) за определенный период времени (например, за год).

Риск возникновения чрезвычайных происшествий оценивают на основе статистических данных или теоретических исследований. При использовании статистических данных величину риска определяют по формуле

$$R = (N_{чс}/N_{о}), \quad (1.7)$$

где R — риск; $N_{чс}$ — число чрезвычайных событий в год; $N_{о}$ — общее число событий в год.

В БЖД риск реализации чрезвычайно опасных негативных воздействий оценивают, используя следующие виды риска:

— индивидуальный риск ($R_{и}$) — объектом защиты является человек;

— социальный риск ($R_с$) — объектом защиты является группа или сообщество людей.

Источники и факторы *индивидуального риска* многочисленны и разнообразны. Некоторые значения индивидуального риска приведены в табл. 1.6 и 1.7, в которых величина риска отнесена к периоду времени, равному одному году.

Таблица 1.6. **Характерные значения индивидуального риска гибели людей от естественных и техногенных факторов**

$R_и$, на 1 чел. в год	Причины возникновения риска	Допустимые значения риска
$3{,}4 \cdot 10^{-3}$	Сердечно-сосудистые заболевания	Зона неприемлемого риска, $R \geq 10^{-3}$
$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	Злокачественные опухоли	
10^{-3}	Автомобильные аварии	
10^{-4}	Несчастные случаи на производстве	Переходная зона, $10^{-6} \leq R \leq 10^{-3}$
10^{-5}	Аварии на железнодорожном, водном и воздушном транспорте; пожары и взрывы	
10^{-6}	Проживание вблизи ТЭС (при нормальном режиме работы)	
10^{-7}	Все стихийные бедствия, укусы насекомых	Зона приемлемого риска, $R < 10^{-6}$
10^{-8}	Проживание вблизи АЭС (при нормальном режиме работы)	

Таблица 1.7. **Индивидуальные риски гибели людей (данные США)**

Причина возникновения риска	$R_и$ на 1 чел. в год	Причина возникновения риска	$R_и$ на 1 чел. в год
Автомобильные аварии	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$	Железные дороги	$9{,}1 \cdot 10^{-6}$
Несчастные случаи на производстве	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	Гражданская авиация	$8{,}0 \cdot 10^{-6}$
Убийства	$9{,}3 \cdot 10^{-5}$	Морской флот	$7{,}8 \cdot 10^{-6}$
Падение	$7{,}4 \cdot 10^{-5}$	Отравление газами	$7{,}8 \cdot 10^{-6}$
Утопление	$3{,}7 \cdot 10^{-5}$	Катание на лодках	$6{,}6 \cdot 10^{-6}$
Пожары	$3{,}0 \cdot 10^{-5}$	Удары молний	$5{,}7 \cdot 10^{-7}$
Отравление твердыми и жидкими ядами	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$	Ураганы	$4{,}2 \cdot 10^{-7}$
Удушение	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$	Смерчи	$4{,}2 \cdot 10^{-7}$
Огнестрельное оружие (спорт)	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$	Укусы насекомых и животных	$2{,}2 \cdot 10^{-7}$

Индивидуальный риск обусловлен вероятностью реализации опасностей в конкретных ситуациях. При использовании статистических данных его определяют по формуле

$$R_{и} = T_{си}/C, \tag{1.8}$$

где $T_{си}$ — численность пострадавших (погибших) от определенного фактора опасного воздействия за год или от их совокупности, например при работе шахтером, испытателем и т. п.; C — численность людей, подверженных воздействию этих факторов за год.

Распределение индивидуального риска $R_{и}$ в пространстве около источника обычно неравномерно. В зоне, прилегающей непосредственно к источнику опасности, он равен величине техногенного риска $R_{т}$ источника, а затем убывает по мере удаления от источника опасности. Характерное изменение индивидуального риска гибели человека в зоне воздействия при выбросе АХОВ показано на рис. 1.5.

Социальный риск характеризует негативное воздействие чрезвычайных происшествий на группы людей. Величину его рассчитывают по формуле

$$R_{с} = \frac{\Delta P}{P}, \tag{1.9}$$

где ΔP — численность погибших от ЧП одного вида в год; P — средняя численность лиц, проживающих или работающих на данной территории, подверженной влиянию ЧП.

Социальный риск $R_{с}$ в зоне расположения опасного объекта зависит от величины техногенного риска объекта $R_{т}$ и показателей количественного распределения людей, находящихся в зоне риска. Мес-

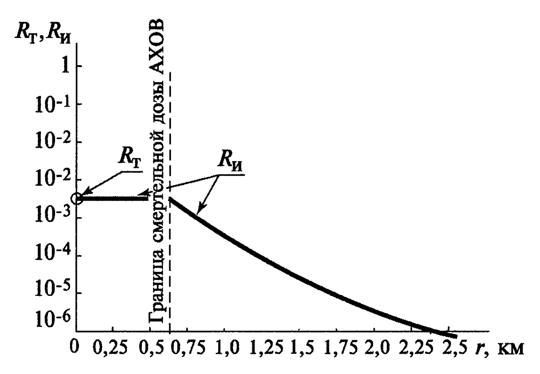


Рис. 1.5. Распределение индивидуального риска в зоне воздействия АХОВ

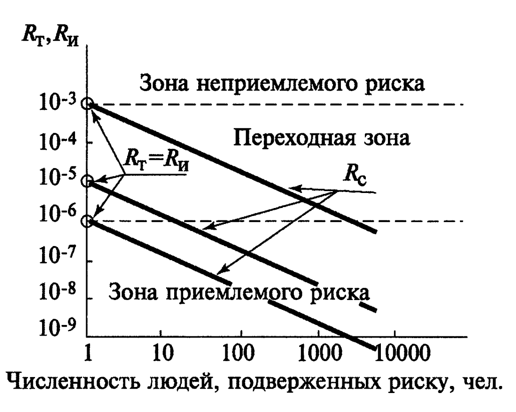


Рис. 1.6. Зависимость социального риска гибели людей около ОПО от численности лиц, подверженных воздействию техногенного риска

тами скопления людей обычно являются производственные и учебные помещения, учреждения, зоны и т. п.

Характерное изменение величины социального риска в зависимости от численности людей, подверженных его воздействию, показано на рис. 1.6.

В соответствии с положением о классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера тяжесть последствий оценивается как локальная, если пострадало не более 10 чел. и зона ее воздействия не выходит за пределы территории объекта производственного или социального назначения.

К источникам и факторам социального риска прежде всего относят:

— особо опасные объекты, технические средства, склонные к возникновению аварий;

— урбанизированные территории с неустойчивой ситуацией;

— эпидемии;

— стихийные бедствия.

В БЖД иногда используют понятие *экологического риска* ($R_э$). Его оценивают как отношение численности разрушенных природных объектов к общей численности объектов на рассматриваемой территории в течение года и определяют по формуле

$$R_э = \frac{\Delta O}{O},$$

где ΔO — численность разрушенных природных объектов из их общего числа O в пределах рассматриваемого региона.

Иногда экологический риск оценивают отношением площади разрушенных территорий (ΔS) к общей площади (S) региона, т. е.

$$R_э = \frac{\Delta S}{S}.$$

Источниками и факторами экологического риска в основном могут быть техногенное влияние на окружающую природную среду и стихийные явления: землетрясения, наводнения, ураганы, засуха и т. п.

Аварии и стихийные явления, характеризуемые на их первой стадии значениями риска, в дальнейшем могут создавать в жизненном пространстве чрезвычайные ситуации. Состояние опасностей на таких территориях (акваториях и т. п.) описывают вредными факторами — концентрациями вредных веществ и значениями уровней интенсивности потоков энергии обычно в безразмерных единицах, кратных ПДК или ПДУ. Характерным примером развития подобных событий является авария ЧАЭС.

При воздействии травмоопасностей условием безопасности считают соотношение $R_и \leq R_{доп}$, реализуемое в зоне пребывания человека. Состояние опасных зон в этом случае описывают величиной индивидуального риска в виде изолиний этого риска (рис. 1.7), а значения допустимого индивидуального риска устанавливают на основе концепции приемлемого риска.

При построении полей индивидуального риска от воздействия технических средств в селитебных зонах следует использовать соотношение

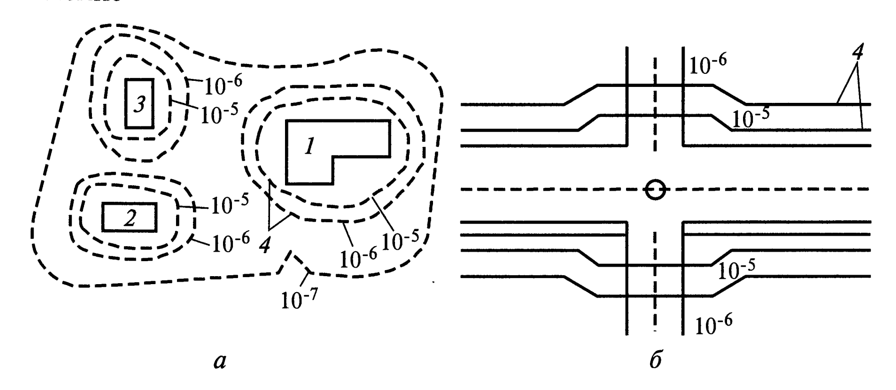


Рис. 1.7. Зоны индивидуального риска для опасных предприятий (*а*), транспортной магистрали (*б*), по которой осуществляется перевозка опасных грузов: *1, 2, 3* — опасные объекты; *4* — изоляции равного риска

$$R_{\text{и. т}}(x,y) = \sum_{1}^{n} R_{\text{т}_i}(x,y), \qquad (1.10)$$

где $R_{\text{т}_i}$ — величина техногенного риска i-го источника в точке селитебной зоны с координатами x и y; n — число источников в техногенной опасности, оказывающих опасное влияние в этой точке пространства.

Максимальное значение индивидуального риска ($R_{\text{и}}$) для человека в конкретной зоне его пребывания определяют суммацией величины естественного риска ($R_{\text{ест}}$) в этой зоне с величиной индивидуального риска ($R_{\text{и.т}}$), возникающего от действия всех техногенных источников в данной зоне пребывания по формуле

$$R_{\text{и}} = R_{\text{и.т}} + R_{\text{ест}}. \qquad (1.11)$$

Необходимо понимать, что значения $R_{\text{и}}$, определенные по формулам (1.10), (1.11), являются условными, так как дают значения максимального индивидуального риска при одновременной реализации опасностей в конкретной точке пространства, что в реальных условиях маловероятно.

В пределах территориального влияния опасного производственного объекта (ОПО) оценочный алгоритм методики воздействия объекта на производственный персонал и население зоны влияния субъекта сводится к следующему (рис. 1.8).

Концепция приемлемого риска. Введение в рассмотрение понятия о предельно допустимых рисках ($R_{\text{доп}}$) отражает современный подход к оценке меры опасности. Стремление человечества в прошлом создать безопасную среду обитания (прежде всего техносферу) оказалось неадекватным действительности. Современный мир отверг концепцию «абсолютной безопасности» и пришел к концепции приемлемого допустимого риска. При реализации этой концепции важнейшей

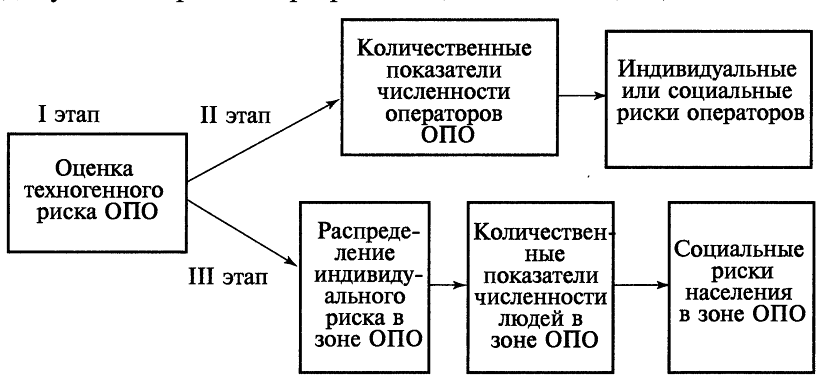


Рис. 1.8. Оценка риска ОПО

задачей является установление верхней границы допустимого риска. На практике ее рационально находить на основе статистических данных.

Ключевым значением при установлении допустимого риска явилась идея, предложенная Фармером в 1967 г. Смысл идеи заключался в установлении величины допустимого риска, равного риску выхода радиоактивной утечки в атмосферу из ядерного реактора в год.

Современные представления об уровнях приемлемого индивидуального риска (см. табл. 1.6) говорят о следующем:

— нижнюю зону, где значение вероятности смерти находится в пределах менее 10^{-6}, представляют маловероятные события. Эту зону принято называть зоной приемлемого риска. По принятой в настоящее время концепции допустимое для населения значение индивидуального риска от любой формы деятельности не должно превышать величину 10^{-6} смертей на одного человека в год. Эта величина в основном связана со стихийными природными явлениями, избавиться от которых невозможно, вследствие чего их вынуждены принимать как условия своего существования на Земле. Одновременно статистика показывает также, что индивидуальный риск летального исхода при эксплуатации многих технических систем существует на уровне 10^{-7};

— в верхней зоне при вероятности более 10^{-3} сосредоточены наиболее вероятные причины, по которым погибает подавляющее большинство людей, поэтому добавление в нашу жизнь факторов опасности с вероятностью более 10^{-3} существенно увеличивает вероятность смерти людей от внешних причин. Эта зона рассматривается как зона неприемлемого риска;

— в зону индивидуального риска смерти человека от 10^{-3} до 10^{-6} входят многочисленные, весьма распространенные виды деятельности и события. Ее называют переходной зоной от недопустимого риска ($> 10^{-3}$) к зоне приемлемого риска ($< 10^{-6}$).

Принимая допустимый уровень риска смертельных случаев из-за внешних причин, равный 10^{-6} чел./год, необходимо понимать, что многие виды производственной деятельности имеют все-таки более высокие риски. Так, например:

Профессия	$R_и$ на 1 чел./год
Текстильщики, обувщики, работники лесной промышленности и др.	10^{-4}
Шахтеры, металлурги, судостроители, строители и др.	10^{-4}—10^{-3}
Рыбопромысловики, верхолазы, трактористы	10^{-3}—10^{-2}
Летчики-испытатели, летчики реактивных самолетов	10^{-2}

В последние годы в мировой практике концепция приемлемого риска находит все более широкое применение. Теоретические попытки количественной оценки приемлемого риска предприняты во Франции, Дании, Нидерландах, России и других странах [10]. В Великобритании принят допустимым индивидуальный риск при серьезных авариях, равный 10^{-4} чел./год, в Нидерландах максимальный приемлемый индивидуальный риск смерти равен 10^{-6} чел./год.

Показатели негативного влияния опасностей на человека и общество. Реализованные в среде обитания человека опасности неизбежно сопровождаются потерей здоровья и гибелью людей. Для оценки этих потерь на объектах экономики в условиях города, региона или в быту используют следующие абсолютные показатели:

— численность $T_с$ погибших от внешних факторов за год;

— численность $T_{тр}$ пострадавших от воздействия травмирующих факторов за год;

— численность $T_з$, получивших региональные или профессиональные заболевания от воздействия вредных факторов.

Для оценки травматизма в производственных условиях, кроме абсолютных показателей, используют относительные показатели частоты и тяжести травматизма.

Показатель частоты травматизма $K_ч$ определяет число нечастных случаев, приходящихся на 1000 работающих за определенный период:

$$K_ч = T_{тр}1000/C, \qquad (1.12)$$

где C — среднесписочное число работающих.

Показатель тяжести травматизма $K_т$ характеризует среднюю длительность нетрудоспособности, приходящуюся на один несчастный случай:

$$K_т = Д/T_{тр}, \qquad (1.13)$$

где $Д$ — суммарное число дней нетрудоспособности по всем несчастным случаям.

Показатель травматизма со смертельным исходом $K_{си}$ определяет число несчастных случаев из расчета на 1000 работающих за определенный период времени (обычно в год):

$$K_{си} = 1000(T_{си}/C), \qquad (1.14)$$

где $T_{си}$ — численность пострадавших со смертельным исходом.

Из сопоставления соотношений (1.8) и (1.14) следует, что $R_и = 10^{-3}K_{си}$. Показатели $K_ч$, $K_т$ и $K_{си}$ обычно используют в Госкомста-

те РФ для представления сведений о производственном травматизме. Для оценки уровня нетрудоспособности вводят *показатель нетрудоспособности* $K_н = 1000\,Д/С$; нетрудно видеть, что $K_н = K_ч K_т$.

В качестве показателей негативного влияния опасностей, в той или иной мере отражающих уровень опасности *среды обитания страны* или *региона,* используют

— *младенческую смертность* (число смертей детей в возрасте до 1 года из 1000 новорожденных) от внешних причин;

— *детскую смертность,* определяемую как численность умерших в возрасте до 15 лет от внешних причин;

— *смертность населения в трудоспособном возрасте* от внешних причин.

Общее состояние экономики страны, общественных отношений, уровня социальной защиты, качества среды обитания и ряда других факторов находят свое интегральное отражение в таких показателях продолжительности жизни людей в стране, как средняя продолжительность жизни людей в пенсионном возрасте и средняя продолжительность жизни людей.

Средняя продолжительность жизни людей в пенсионном возрасте как интегральный показатель негативного влияния условий жизни, в том числе опасностей среды обитания, определяется как разность средней продолжительности жизни людей и пенсионного возраста, установленного в стране. Данные, приведенные в табл. 1.8, свидетельствуют о весьма серьезной ситуации, связанной с продолжительностью жизни мужчин в России в предпенсионном и пенсионном возрасте.

Таблица 1.8. **Продолжительность жизни людей в пенсионном возрасте**

Страна	Средняя продолжительность жизни, лет	Пенсионный возраст, лет	Продолжительность жизни в пенсионном возрасте, лет
Япония	80	65	15
США:			
мужчины	76,4	65	11,4
Россия:			
женщины	72,7 (74,3)	55 (55)	17,7 (19,3)
мужчины	59,3 (61,8)	60 (60)	–0,7 (1,8)

Примечание. В скобках приведены данные по Москве.

В среднем мужчины России умирают, не достигнув пенсионного возраста. К сожалению, показатель продолжительности жизни людей в пенсионном возрасте не нашел должного места при оценке социальной деятельности государства и общества в нашей стране.

Интегральным показателем оценки условий жизни в стране или регионе является *средняя продолжительность жизни* (СПЖ) людей, проживающих в конкретных условиях. В качестве реперного значения средней продолжительности жизни следует принимать максимально достигнутые значения $СПЖ_о$ в странах мира (в настоящее время в Японии $СПЖ_о = 80$ лет).

Исходя из этого, для каждой страны уменьшение СПЖ можно найти по формуле $ΔСПЖ = СПЖ_о – СПЖ$, где СПЖ — средняя продолжительность жизни в стране (регионе), лет.

Относительное значение ΔСПЖ определяют по формуле

$$\overline{ΔСПЖ} = \frac{(СПЖ_о - СПЖ)}{СПЖ_о}.$$

Данные о средней продолжительности жизни в ряде стран приведены во введении в табл. В.2. Средняя продолжительность жизни людей в развитых странах составляет 75 лет и более, а в развивающихся — 63 года и менее. В Африке средняя продолжительность жизни — 52,5 года, а в Европе — 73,1 года

В ряде работ [8 и др.] предприняты попытки установить связь между средней продолжительностью жизни людей в стране с их доходами, а затем, учитывая, что доход Д на душу населения и ВВП (валовый внутренний продукт) в государстве связаны пропорционально (например, для Англии и Канады ВВП = 1,5Д), найти численные соотношения между величинами ВВП и СПЖ. По данным работы [8], они таковы:

ВВП, тыс. дол. США/чел. . .	0,6	1,1	2,1	3,2	4,0	5,0	6,9	8,0	10,0	12,0
СПЖ, лет	46	56	62	62	68	70	74	76	78	79

Графическая интерпретация этих данных (рис. 1.9) свидетельствует о существенном снижении СПЖ при значениях ВВП около 3—4 тыс. дол. США/чел.

Это подтверждается по данным (1997), приведенными в табл. 1.9.

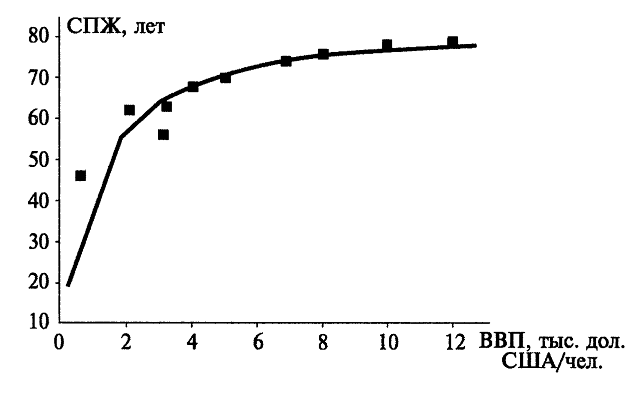


Рис. 1.9. Зависимость СПЖ от ВВП (экспериментальные значения обозначены квадратами, теоретическая кривая — сплошной линией)

Таблица 1.9. **Зависимость СПЖ от ВВП в разных странах мира**

Страна	Реальный ВВП на душу населения, тыс. дол. США/год	Затраты на медицинские услуги, дол. США/год	Средняя продолжительность жизни, лет
Япония	24,07	2244	80
США	29,01	4055	76,4
Швеция	19,76	—	78,5
Мексика	8,37	—	72,7
Колумбия	6,8	—	72,7
Россия	4,37	109	66,6
Нигерия	0,92	—	50,1
Руанда	0,66	—	40,5
Сьерра-Леоне	0,41	—	37,2

Связь величины индивидуального риска преждевременной смерти с величиной личного дохода (дол. США/чел.), по мнению автора работы [8], можно интерпретировать уравнением

$$R_{\text{и}} = \frac{e^{-0,0001878\,\text{Д}}}{85}.$$

1.7. БЕЗОПАСНОСТЬ, СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Термин «безопасность» имеет практическое значение лишь применительно к системе ***«объект защиты — источник опасности»***. Отсутствие объекта защиты и тем более источника опасности приводит разговор о безопасности в беспредметную область.

Безопасность объекта — это состояние объекта, при котором воздействие на него всех потоков вещества, энергии и информации не превышает максимально допустимых значений.

Термин «безопасность» широко используется в технике, социологии, праве и т. п. Словосочетания «безопасность труда», «безопасность АЭС», «безопасность движения», «радиационная безопасность», «экономическая безопасность» и т. п. привычны для широкого круга читателей, однако они не всегда имеют однозначное толкование и понимание. Например, когда говорят «безопасность труда», то имеют в виду безопасное по отношению к человеку проведение производственного процесса, рассматривая систему «человек — производство». Здесь все однозначно и понятно. Но, если говорят «безопасность АЭС», то в этом случае могут иметь в виду, с одной стороны, безопасность АЭС в режиме эксплуатации по отношению к человеку и окружающей среде, с другой — понятие «безопасность» можно трактовать и как обеспечение безопасной эксплуатации самой АЭС, т. е. как регламентированное проведение работ на АЭС, имея в виду, например, систему «АЭС — внешние факторы». В первом случае объектом защиты является человек, и это проблема БЖД, а во втором — сама АЭС, и это проблема сугубо техническая, связанная с правильным проектированием и эксплуатацией АЭС. Нормативами на обеспечение безопасности в первом случае являются нормы допустимого воздействия опасностей на людей, а во втором — требования к персоналу по соблюдению режима работы АЭС, требования к устройству АЭС и др.

Чтобы правильно оценить содержание процесса обеспечения безопасности и указать его исполнителя, необходимо термин «безопасность» всегда рассматривать в системе «объект защиты — источник опасности». Пользуясь этим принципом, почти всегда можно прийти к пониманию.

Например, словосочетание «безопасность автомобиля» может иметь отношение к системам «автомобиль — опасность» и «человек — автомобиль». В первом случае объектом защиты является автомобиль и решается задача обеспечения его безопасности при конструировании за счет поддержания его технического состояния и правильной эксплуатации, в том числе профессионального вождения. В этом случае задача сохранения эксплуатационной пригодности автомобиля решается автоспециалистами. Во втором случае обеспечивается безопасность человека, в том числе пассажиров, водителя и пешеходов при эксплуатации автомобиля. Последняя задача полностью относится к проблемам БЖД и решается предъявлением требований к безопасности автомобилей, соблюдением правил дорожного движения всеми его участниками.

Необходимость четкой связи термина «безопасность» с объектом защиты весьма важна, так как полностью определяет круг знаний, умений и навыков специалиста, реализующего задачу обеспечения безопасности объекта защиты. Если решается задача обеспечения безопасности технического устройства, то таким специалистом будет создатель техники, а если решается задача обеспечения безопасности человека, проектирующего и эксплуатирующего технику, реализующего технологию любого производственного процесса и т. п., то это будет специалист в области БЖД.

Системы безопасности. Основное желаемое состояние человека как объекта защиты — безопасное. Оно реализуется при полном отсутствии негативных воздействий на него и достигается также при условии, когда действующие опасные потоки снижены системой защиты до предельно допустимых уровней воздействия.

При анализе и синтезе систем безопасности человека следует иметь в виду, что в научно-практических исследованиях довольно часто используют систему «человек — машина — среда». Применительно к нашему представлению о системах безопасности источником опасностей в такой системе рассматривают: состояние технического объекта (машины), внешнее воздействие (среда) и управляющее воздействие человека как оператора, а основным выходным параметром объекта защиты (машины) принимают техногенный риск всей системы.

Полученные при таких условиях значения техногенного риска машины или иного технологического объекта следует понимать как показатель опасности источника по отношению к человеку, находящемуся вне этой системы. Таким образом, значения техногенного риска машины в совокупности с аналогичными показателями других источников опасностей, расположенных в конкретной промышленной зоне, регионе, городе, являются исходными данными для оценки степени опасности селитебной зоны величиной индивидуального риска.

В реальных условиях на объект защиты могут действовать одновременно несколько источников опасности, создавая поле опасностей. Анализ таких систем безопасности достаточно сложен, и для рационального проведения исследований необходимо строго соблюдать ***правило единственности объекта защиты:*** *«теоретический анализ и практическую деятельность по обеспечению безопасности необходимо проводить только для одного объекта защиты».*

Как следует из сказанного, таким объектом защиты может быть человек, коллективы людей, рабочая зона, техносфера, регион и т. п. Это правило подтверждается принципами создания и реализа-

ции нормативов безопасности, которые индивидуальны для каждого объекта защиты.

Другое дело, что защищая один объект, можно одновременно защитить и другие объекты, но такая ситуация возникает не всегда. Например, характерно, что обеспечение безопасности жизнедеятельности человека в городской техносфере — путь к решению многих проблем защиты природной среды в пригородной зоне от негативного влияния той же техносферы (выбросов, сбросов, отбросов и т. п.).

В общем понимании можно предполагать реализацию следующих систем безопасности, характерных для области защиты человека и человечества:

— человек как отдельная личность в среде обитания;
— группа людей в среде обитания;
— население города (региона) в техносфере;
— человечество в биосфере и техносфере;
— жизнь на Земле в космической среде.

Сегодня в России для защиты человека и зон его пребывания от опасностей реально существуют следующие системы безопасности:

Система безопасности	Объект защиты	Опасности, поле опасности
Безопасность (охрана) труда	Человек Группа людей	Опасности среды деятельности людей
Защита в чрезвычайных ситуациях	Человек Группа людей Техносфера Природная среда Материальные ресурсы	Естественные, техногенные и антропогенные чрезвычайные опасности
Охрана окружающей среды	Городские и иные селитебные зоны Природная среда и ее ресурсы	Опасности техносферы Антропогенные опасности

В последние годы развивается и набирает силу новая интегральная система обеспечения безопасности людей — *«безопасность жизнедеятельности человека в техносфере»,* которая решает задачу комплексного обеспечения безопасности в системе «человек — среда обитания» для техногенных условий обитания [1,2].

Структура этой системы защиты человека от опасностей в зонах его деятельности показана на рис. 1.10. Из рисунка видно, что для формирования безопасных условий деятельности и отдыха человека реализуются до восьми видов подсистем защиты. Необходимость их использования определяется конкретными условиями труда и быта и прежде всего номенклатурой и уровнями негативных воздействий на человека в зоне его пребывания (зона защиты в техносфере).

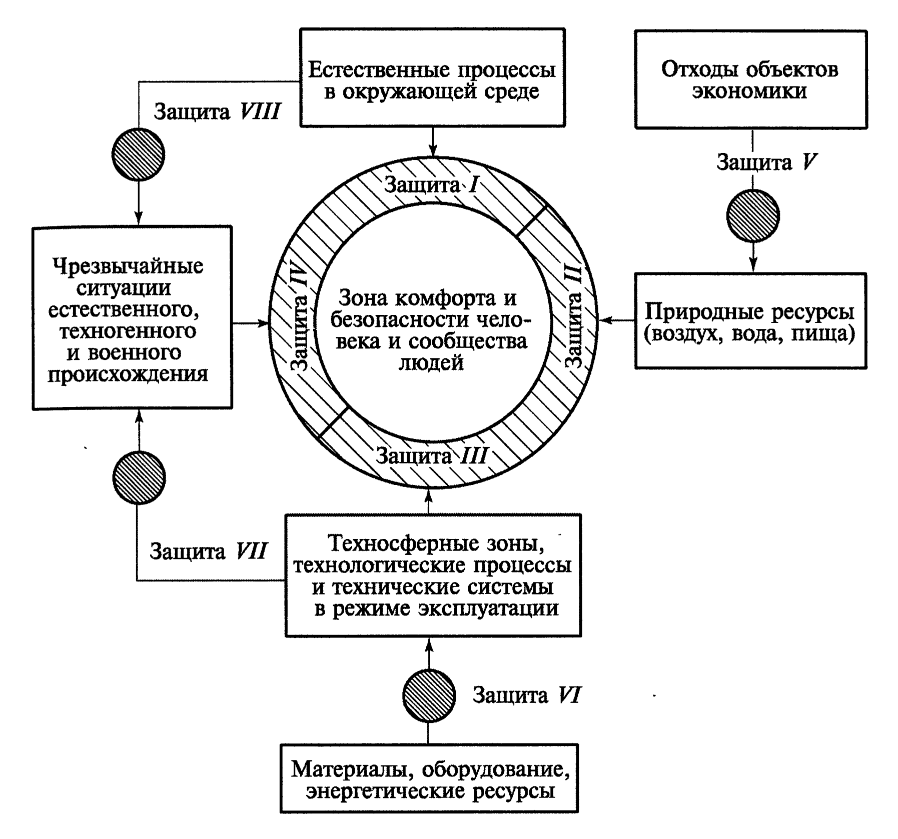


Рис. 1.10. Комплексная система обеспечения комфортности и травмобезопасности человека в техносфере

Создание такой системы безопасности целесообразно, поскольку действия по локализации опасностей техносферы носят комплексный характер и включают огромный пласт индивидуальной, общечеловеческой и государственной деятельности людей. Пути и принципы обеспечения безопасности жизнедеятельности многообразны и изменяются от средств индивидуальной защиты личности до общегосударственных законодательных актов. Достижение безопасности человека в техносфере — задача как индивидуального, так и всенародного масштаба; задача, непосредственно связанная как с действиями каждого человека в сфере деятельности, быта и отдыха, так и с действиями руководителей производственных процессов, отраслей экономики и государства.

Значение этой системы защиты существенно возрастает, поскольку обеспечение безопасности жизнедеятельности в техносфе-

ре — одновременно и путь к решению многих проблем защиты природной среды от негативного влияния техносферы, фундамент для решения проблем безопасности на более высоких уровня: региональном, глобальном.

Контрольные вопросы к главе 1

1. Сформулируйте основные принципы и понятия науки о БЖД.
2. Что такое толерантность организма?
3. Какие виды взаимодействия человека со средой обитания вам известны?
4. Как классифицируют опасности по степени завершенности процесса их воздействия?
5. Опишите причинно-следственное поле опасностей.
6. Назовите критерии количественной оценки опасностей.
7. Какие системы обеспечения безопасности человека сегодня существуют в России?

Раздел II

ОПАСНОСТИ ТЕХНОСФЕРЫ

Глава 2

ИСТОЧНИКИ ОПАСНОСТЕЙ

2.1. ЕСТЕСТВЕННЫЕ ОПАСНОСТИ

Естественные опасности возникают при изменении абиотических факторов биосферы и при стихийных природных явлениях.

К первым относятся: *климатические* (атмосферные) факторы (температура и влажность воздуха, скорость ветра, атмосферное давление, газовый состав воздуха, осадки, прозрачность атмосферы, излучение Солнца и др.); *факторы водной среды* (температура воды, ее состав, кислотность и др.); *почвенные* факторы (состав, кислотность, температура и др.) и *топографические* факторы (высота над уровнем моря, крутизна склона и др.).

Температура воздуха и излучение Солнца — наиболее важные абиотические факторы. От температуры зависят обмен веществ и жизнь организмов, их географическое распространение. Реальные температурные условия пребывания человека в атмосферном воздухе могут изменяться в широких пределах: от – 30°С и ниже (работа на открытых площадках в зимних условиях) до + 40°С и выше при пребывании в условиях жаркого климата.

Установлено, что при достижении температурного уровня в 27...28°С эффективность работы человека снижается, а число ошибок возрастает. Нижняя граница допустимого температурного уровня — + 18°С. Известно также, что при температуре + 13°С несчастные случаи на производстве происходят на 34 % чаще, чем при 18°С.

Излучение Солнца, представляющее собой электромагнитные волны различной длины, также крайне значимо для живой природы и для человека. Оно является основным внешним источником энергии, определяет продолжительность светового дня, его видимый диапазон излучения обеспечивает непосредственную связь организма с окружающим миром, давая до 90 % информации о нем. Но современному человеку не хватает дневного естественного света. Значительная часть работы и отдыха человека протекает при искусственном освещении.

Отклонения температуры атмосферного воздуха от допустимой и недостаточная освещенность поверхностей солнечным излучением сопровождаются возникновением естественных опасностей, действующих на человека. Отклонения иных абиотических факторов также могут стать причиной возникновения естественных опасностей, но их проявление возникает, как правило, реже и менее значимо для жизнедеятельности человека.

Стихийные природные явления лежат в основе возникновения природных чрезвычайных ситуаций, которые часто сопровождаются стихийными бедствиями — это землетрясения, вулканические извержения, селевые потоки, оползни, наводнения, ураганы, лавины, грозовые разряды и др.

При землетрясениях в окружающем пространстве наблюдается сейсмический удар, происходит деформация горных пород, возможно извержение вулканов, нагон воды (цунами), смещение горных пород, снежных масс, ледников и т. д.

При извержениях вулканов чаще всего наблюдаются: деформация и сотрясения земной поверхности; выброс и выпадение продуктов извержения; движение лавы, грязевых, каменных потоков; гравитационное смещение горных пород. В атмосферу вырывается большое количество паров и газов, приводящих к химическому загрязнению атмосферы. Раскаленная лава приводит к тепловому загрязнению окружающей среды с потенциальной опасностью образования крупномасштабных пожаров. Нередко в кратерах в период покоя образуются озера, тогда в период извержения водогрязевые потоки представляют опасность даже большую, чем потоки лавы (из-за больших скоростей перемещения потоков по склонам).

Сели — это внезапно возникающий в руслах горных рек временный поток, характеризующийся резким подъемом уровня воды и высоким содержанием продуктов разрушения горных пород. Возникновению грязевого потока в основном способствуют три условия: интенсивный ливень или очень дружное снеготаяние; значительная крутизна склонов речных долин и балок, т. е. большие уклоны водных потоков; наличие на склонах больших масс легко смываемого рыхлого мелкообломочного грунта.

Оползень — скользящее под влиянием силы тяжести вниз по склону смещение горных пород. Оползни возникают на каком-нибудь участке склона или откоса вследствие нарушения равновесия пород, вызванного различными причинами; увеличением крутизны склона в результате подмыва водой; ослаблением прочности пород при выветривании или переувлажнении осадками и подземными во-

дами; воздействием сейсмических толчков, хозяйственной деятельностью, проводимой без учета геологических условий местности.

Селевые потоки и оползни способны вызвать крупные завалы и обрушения автомобильных и железных дорог, разрушение зданий и сооружений, населенных пунктов, затопление территорий, поражение и гибель людей. Оползни обычно возникают неожиданно и приносят большие бедствия, накрывая населенные пункты или их части плотным, высоким слоем обломочных пород, глиной и песком, что крайне затрудняет проведение спасательных работ.

Наводнения — затопление значительных территорий, возникающее в результате разлива рек во время половодья и паводков, ливневых дождей, ледяных заторов рек, обильного таяния снегов и других природных причин. При наводнении разрушаются здания и сооружения, происходит размыв участков дорог, повреждаются гидротехнические и дорожные сооружения.

Грозовые разряды. На земном шаре ежегодно регистрируются более шестнадцати миллионов гроз, причем ежесекундно в атмосфере происходит около ста грозовых разрядов. Атмосферные электрические разряды могут происходить как между отдельными облаками, так и между грозовыми облаками и поверхностью земли. Протяженность грозовых каналов нередко достигает нескольких километров, а сила тока в них составляет несколько сотен тысяч ампер. Такие грозовые каналы представляют значительную опасность для промышленных, гражданских и военных объектов, поскольку могут стать причи-

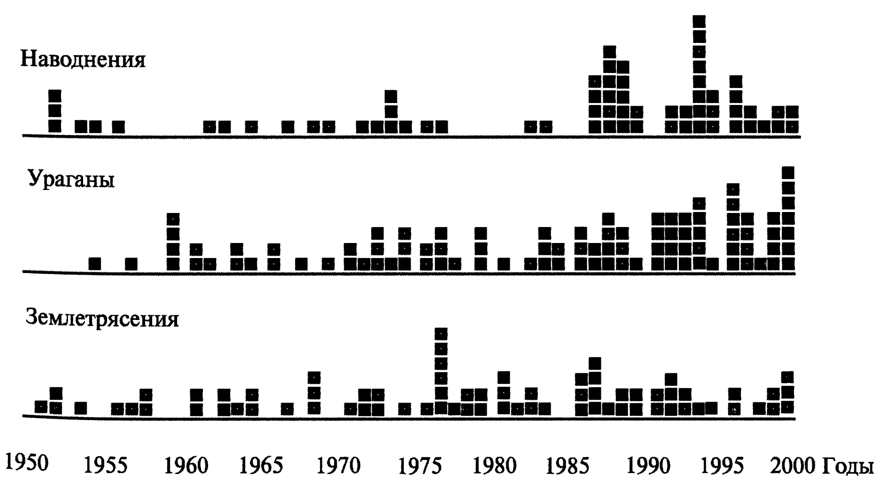


Рис. 2.1. Виды и число крупнейших бедствий в год (1950—2000):

■ — одно бедствие

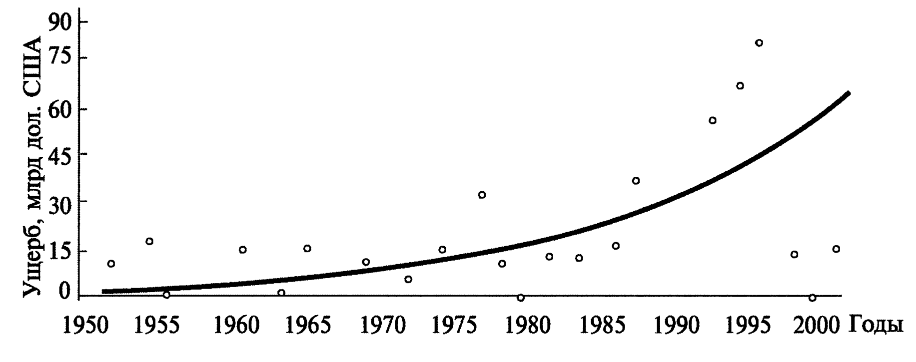


Рис. 2.2. Экономические потери от стихийных бедствий (1950—2000):

○ — реальный ущерб события; — — осредненное значение ущерба

ной пожаров, механических повреждений оборудования, нарушений на линиях связи и энергоснабжения и взрывов технологического оборудования.

Источники природных чрезвычайных ситуаций, их поражающие факторы и номенклатура поражающих воздействий приведены в ГОСТ Р. 22.0.06.95 БЧС.

Виды и число крупнейших стихийных бедствий в мире с 1950 по 2000 г. приведены на рис. 2.1, экономические потери от них — на рис. 2.2.

2.2. ТЕХНОГЕННЫЕ ОПАСНОСТИ

Элементы техносферы создают техногенные опасности, возникающие при загрязнении окружающей среды различными отходами и потоками энергий. Зоны действия техногенных опасностей распространяются на регионы техносферы и примыкающие к ним природные зоны, на территории и помещения объектов экономики, на транспортные, городские и селитебные зоны. В отдельных случаях техногенные опасности проявляются на межрегиональном и глобальном уровнях.

Загрязнение атмосферы. Атмосферный воздух всегда содержит некоторое количество примесей, поступающих от естественных и техногенных источников. К числу примесей, выделяемых естественными источниками, относят: пыль (растительного, вулканического, космического происхождения, возникающую при эрозии почвы, частицы морской соли); туман; дым и газы от лесных и степных пожаров;

газы вулканического происхождения; различные продукты растительного, животного происхождения и др.

Естественные источники загрязнений бывают либо распределенными, например выпадение космической пыли, либо локальными, например лесные и степные пожары, извержения вулканов. Уровень загрязнения атмосферы естественными источниками является фоновым и мало изменяется с течением времени.

Основное техногенное загрязнение атмосферного воздуха создают автотранспорт, теплоэнергетика и ряд отраслей промышленности (табл. 2.1).

Таблица 2.1. **Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу Российской Федерации, тыс. т**

Источники выбросов	1996 г.	2001 г.	2003 г.
Теплоэлектростанции	4748	3655,8	3446,6
Металлургические предприятия	6133	5673,3	5439,9
Нефтяная и газовая промышленность	2699	3264,3	3818,4
Химическая и нефтехимическая промышленность	454	437,4	403,3
Производства, выпускающие строительные материалы	528	455,0	448,0
Предприятия, перерабатывающие древесину	434	371,7	308,7
Автотранспорт	10 955	14 981	14823,1

Самыми распространенными токсичными веществами, загрязняющими атмосферу, являются: оксид углерода CO, диоксид серы SO_2, оксиды азота NO_x, углеводороды C_nH_m и пыль. Основные источники примесей атмосферы и их ежегодные выбросы приведены в табл. 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2. **Источники выбросов веществ в атмосферу**

Примеси	Основные источники		Среднегодовая концентрация в воздухе, мг/м^3
	естественные	антропогенные	
Пыль	Вулканические извержения, пылевые бури, лесные пожары и др.	Сжигание топлива в промышленных и бытовых установках	В городах 0,04...0,4
Диоксид серы	Вулканические извержения, окисление серы и сульфатов, рассеянных в море	Сжигание топлива в промышленных и бытовых установках	В городах до 1,0
Оксиды азота	Лесные пожары	Промышленность, автотранспорт, теплоэлектростанции	В районах с развитой промышленностью до 0,2

Примеси	Основные источники		Среднегодовая концентрация в воздухе, мг/м^3
	естественные	антропогенные	
Оксид углерода	Лесные пожары, выделения океанов	Автотранспорт, промышленные энергоустановки, предприятия черной металлургии	В городах 1...50
Летучие углеводороды	Лесные пожары, природный метан	Автотранспорт, испарение нефтепродуктов	В районах с развитой промышленностью до 0,3
Полициклические ароматические углеводороды	—	Автотранспорт, химические и нефтеперерабатывающие заводы	В районах с развитой промышленностью до 0,01

Кроме приведенных выше веществ и пыли, в атмосферу выбрасываются и другие, более токсичные вещества. Так, вентиляционные выбросы заводов электронной промышленности содержат пары плавиковой, серной, хромовой и других минеральных кислот, органические растворители и т. п. В настоящее время насчитывается более 500 вредных веществ, загрязняющих атмосферу, их количество увеличивается.

Таблица 2.3. **Ежегодное количество примесей, поступающих в атмосферу Земли**

Вещество	Выбросы, млн т		Доля антропогенных примесей в общих поступлениях, %
	естественные	антропогенные	
Пыль	3700	1000	27
Оксид углерода	5000	304	5,7
Углеводороды	2600	88	3,3
Оксиды азота	770	53	6,5
Оксиды серы	650	100	13,3
Диоксид углерода	485 000	18 300	3,6

Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от промышленных источников в РФ в 2003 г. в млн т следующие: пыль —2,3, диоксид серы —4,6, оксид углерода —4,9, оксиды азота —1,4, углеводороды —1,2.

Каждой отрасли промышленности присущ характерный состав и масса веществ, поступающих в атмосферу. Это определяется прежде

всего составом веществ, применяемых в технологических процессах, и экологическим совершенством последних. В настоящее время экологические показатели теплоэнергетики, металлургии, нефтехимического производства и ряда других производств изучены достаточно подробно. Необходимые сведения можно найти в работах [3, 10]. Меньше исследованы показатели машиностроения и приборостроения, их отличительными особенностями являются: широкая сеть производств, приближенность к жилым зонам, значительная гамма выбрасываемых веществ, среди которых могут содержаться вещества 1-го и 2-го класса опасности, такие как пары ртути, соединения свинца и т. п.

Высокие концентрации и миграция примесей в атмосферном воздухе стимулируют их взаимодействие с образованием более токсичных соединений (смога, кислот) или приводят к таким явлениям, как «парниковый эффект» и разрушение озонового слоя.

Общая схема реакций образования *фотохимического смога* сложна и в упрощенном виде может быть представлена реакциями

$$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O$$
$$O + O_2 \rightarrow O_3$$
. . . . . .
$$\left.\begin{matrix} C_nH_m + O \\ C_nH_m + O_3 \end{matrix}\right\} \quad \text{ПАН (пероксиацилнитраты)}$$

Смог весьма токсичен, так как его составляющие обычно находятся в пределах: O_3 — 60...75 %, ПАН, H_2O_2, альдегиды и др.— 25...40 %.

Для образования смога в атмосфере в солнечную погоду необходимо наличие оксидов азота и углеводородов (их выбрасывают в атмосферу автотранспорт, промышленные предприятия). Характерное распределение фотохимического смога по времени суток показано на рис. 2.3.

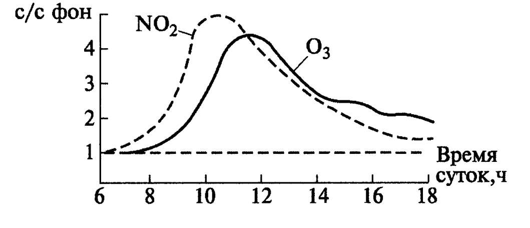


Рис. 2.3. Относительные концентрации NO_2 и O_3 в атмосферном воздухе (г. Лос-Анджелес, 19.07.65 г.)

Фотохимические смоги, впервые обнаруженные в 40-х годах XX в. в г. Лос-Анджелес, теперь периодически наблюдаются во многих городах мира.

Кислотные дожди известны более 100 лет, однако проблема этих дождей возникла около 25 лет назад.

Источниками кислотных дождей служат газы, содержащие серу и азот. Наиболее важные из них: SO_2, NO_x, H_2S. Кислотные дожди возникают вследствие неравномерного распределения этих газов в атмосфере. Например, концентрация SO_2 (мкг/м^3) обычно такова: в городе 50...1000, на территории около города в радиусе около 50 км 10...50, в радиусе около 150 км 0,1...2, над океаном 0,1.

Основными реакциями в атмосфере являются: I вариант: $SO_2 + OH \rightarrow HSO_3$; $HSO_3 + OH \rightarrow H_2SO_4$ (молекулы в атмосфере быстро конденсируются в капли); II вариант: $SO_2 + h\nu \rightarrow SO^*_2$ (SO^*_2 — активированная молекула диоксида серы); $SO_2 + O_2 \rightarrow SO_4$; $SO_4 + O_2 \rightarrow SO_3 + O_3$; $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$. Реакции обоих вариантов в атмосфере идут одновременно. Для сероводорода характерна реакция $H_2S + O_2 \rightarrow SO_2 + H_2O$ и далее I или II вариант реакции.

Источниками поступления соединений серы в атмосферу являются: естественные (вулканическая деятельность, действия микроорганизмов и др.) 31...41 %, антропогенные (ТЭС, промышленность и др.) 59...69 %; всего поступает 91...112 млн т в год.

Концентрации соединений азота (мкг/м^3) составляют: в городе 10...100, на территории около города в радиусе 50 км 0,25...2,5, над океаном 0,25.

Из соединений азота основную долю кислотных дождей дают NO и NO_2. В атмосфере возникают реакции: $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$, $NO_2 + OH \rightarrow HNO_3$. Источниками соединений азота являются: естественные (почвенная эмиссия, грозовые разряды, горение биомассы и др.) 63 %, антропогенные (ТЭС, автотранспорт, промышленность) 37 %; всего поступает 51...61 млн т в год.

Серная и азотная кислоты поступают в атмосферу также в виде тумана и паров от промышленных предприятий и автотранспорта. В городах их концентрация достигает 2 мкг/м^3.

Соединения серы и азота, попавшие в атмосферу, вступают в химическую реакцию не сразу, сохраняя свои свойства соответственно в течение 2 и 8...10 сут. За это время они могут вместе с атмосферным воздухом пройти расстояния 1000...2000 км и лишь после этого выпадают с осадками на земную поверхность.

Различают два вида седментации: влажную и сухую. Влажная — это выпадение кислот, растворенных в капельной влаге, она возника-

ет при влажности воздуха 100,5 %; сухая реализуется в тех случаях, когда кислоты присутствуют в атмосфере в виде капель диаметром около 0,1 мкм. Скорость седиментации в этом случае весьма мала и капли могут проходить большие расстояния (следы серной кислоты обнаружены даже на Северном полюсе).

В нашей стране повышенная кислотность осадков (pH = 4...5,5) отмечается в отдельных промышленных регионах. Наиболее неблагополучны города Тюмень, Тамбов, Архангельск, Северодвинск, Вологда, Петрозаводск, Омск и др. Плотность выпадения осадков серы, превышающая 4 т/($км^2$ · год), зарегистрирована в 22 городах страны, а более 8...12 т/($км^2$ · год) в городах Алексин, Новомосковск, Норильск, Магнитогорск.

Парниковый эффект. Состояние и состав атмосферы определяют во многом величину солнечной радиации в тепловом балансе Земли. На ее долю приходится основная часть поступающей в биосферу теплоты, дж/год: теплота от солнечной радиации составляет $25 \cdot 10^{23}$(99,8 %), теплота от естественных источников (из недр Земли, от животных и др.) —$37,46 \cdot 10^{20}$(0,18 %), теплота от антропогенных источников (энергоустановок, пожаров и др.) — $4,2 \cdot 10^{20}$(0,02 %).

Экранирующая роль атмосферы в процессах передачи теплоты от Солнца к Земле и от Земли в космос влияет на среднюю температуру биосферы, которая длительное время находилась на уровне около + 15°С. Расчеты показывают, что при отсутствии атмосферы средняя температура поверхности Земли составляла бы приблизительно – 15°С.

Основная доля солнечной радиации передается к поверхности Земли в оптическом диапазоне, а излучаемая поверхностью Земли энергия — в инфракрасном (ИК). Поэтому доля отраженной лучистой энергии, поглощаемой атмосферой, зависит от количества многоатомных минигазов (CO_2, H_2O, CH_4, O_3 и др.) и пыли в ее составе. Чем выше концентрация минигазов и пыли в атмосфере, тем меньше доля отраженной солнечной радиации уходит в космическое пространство, тем больше теплоты задерживается в биосфере за счет парникового эффекта. ИК-излучение поглощается метаном, фреонами, озоном, оксидом азота и т. п. в диапазоне длины волн 1...9 мкм, а парами воды и углекислым газом при длине волн 12 мкм и более. В последние годы наметилась тенденция к значительному росту концентраций CO_2, CH_4, N_2O и других газов в атмосфере. Так, рост концентраций CO_2 в атмосфере выглядит следующим образом:

Годы.	1850	1900	1970	1979	1990	2000	2030	2050
Концентрация CO_2, $млн^{-1}$ . .	260	290	321	335	360	380	450...600	700...750

Аналогично изменяются концентрации метана, оксида азота, озона и других газов. Рост концентраций CO_2 в атмосфере происходит вследствие уменьшения растительности на Земле и увеличения техногенных поступлений.

Источниками техногенных парниковых газов являются: теплоэнергетика, промышленность и автотранспорт, они выделяют CO_2; химические производства, утечки из трубопроводов, гниение мусора и отходов животноводства определяют поступление CH_4; холодильное оборудование, бытовая химия — фреонов; автотранспорт, ТЭС, промышленность — оксидов азота и т. п.

В результате в биосферу дополнительно поступает теплота порядка $70 \cdot 10^{20}$ Дж/год, при этом на долю отдельных газов приходится, %: CO_2 —50, фреонов —15, O_3 —5, CH_4 —20, N_2O_2 —10. Доля парникового эффекта в нагреве биосферы в 16,6 раза больше доли других источников антропогенного поступления теплоты.

Рост концентраций минигазов в атмосфере и, как следствие, повышение доли теплоты ИК-излучения, задерживаемой атмосферой, неизбежно сопровождается ростом температуры поверхности Земли. В период с 1880 по 1940 г. средняя температура в северном полушарии возросла на 0,4°С, а в период до 2030 г. она может повыситься еще на 1,5...4,5°С. Это весьма опасно для островных стран и территорий, расположенных ниже уровня моря. По прогнозам ученых, к 2050 г. уровень моря может повыситься на 25...40 см, а к 2100 г.— на 2 м, что приведет к затоплению 5 млн км^2 суши, т. е. 3 % суши и 30 % всех урожайных земель планеты.

Парниковый эффект в атмосфере — довольно распространенное явление и на региональном уровне. Техногенные источники теплоты (ТЭС, транспорт, промышленность), сконцентрированные в крупных городах и промышленных центрах, интенсивное поступление парниковых газов и пыли, устойчивое состояние атмосферы создают около городов пространства радиусом 50 км и более с повышенными на 1...5°С температурами и высокими концентрациями загрязнений. Эти зоны (купола) над городами хорошо просматриваются из космического пространства. Они разрушаются лишь при интенсивных движениях больших масс атмосферного воздуха.

Техногенные загрязнения атмосферы не ограничиваются приземной зоной. Определенная часть примесей поступает в озоновый слой и разрушает его. *Разрушение озонового слоя* опасно для биосферы, так как оно сопровождается значительным повышением доли ультрафиолетового излучения с длиной волны менее 290 нм, достигающего земной поверхности. Эти излучения губительны для растительности, особенно для зерновых культур, представляют собой источник кан-

церогенной опасности для человека, стимулируют рост глазных заболеваний.

Основными веществами, разрушающими озоновый слой, являются соединения хлора, азота. По оценочным данным, один атом хлора может разрушить до 10^5 молекул озона, одна молекула оксидов азота — до 10 молекул.

Источниками поступления соединений хлора и азота в озоновый слой могут быть: вулканические газы; технологии с применением фреонов; атомные взрывы; самолеты («Конкорд», военные), в выхлопных газах которых содержатся до 0,1 % общей массы газов соединения NO и NO_2; ракеты, содержащие в выхлопных газах соединения азота и хлора. Состав выхлопных газов космических систем (т) на высоте 0...50 км приведен ниже:

Космические системы	Соединения хлора	Оксиды азота	Пары воды, водород	Оксиды углерода	Оксиды алюминия
«Энергия» и «Буран», СССР	0	0	740	750	0
«Шаттл», США	187	7	378	512	177

Значительное влияние на озоновый слой оказывают фреоны, продолжительность жизни которых достигает 100 лет. Источниками поступления фреонов являются: холодильники при нарушении герметичности контура переноса теплоты; технологии с использованием фреонов; бытовые баллончики для распыления различных веществ и т. п.

По оценочным данным, техногенное разрушение озонового слоя к 1973 г. достигло 0,4...1 %; к 2000 г.—3 %, к 2050 г. ожидается 10 %. Ядерная война может истощить озоновый слой на 20...70 %. Заметные негативные изменения в биосфере ожидаются при истощении озонового слоя на 8...10 % общего запаса озона в атмосфере, составляющего около 3 млрд т. Заметим, что один запуск космической системы «Шаттл» сопровождается разрушением около 0,3 % озона, что составляет около 10^7 т озона.

В результате техногенного воздействия на атмосферу возможны следующие негативные последствия:

— превышение ПДК многих токсичных веществ (CO, NO_2, SO_2, C_nH_m, бенз(а)пирена, свинца, безнола и др.) в городах и населенных пунктах;

— образование смога при интенсивных выбросах NO_x, C_nH_m;

— выпадение кислотных дождей при интенсивных выбросах SO_x, NO_x;

— появление парникового эффекта при повышенном содержании CO_2, NO_x, O_3, CH_4, H_2O и пыли в атмосфере, что способствует повышению средней температуры Земли;

— разрушение озонового слоя при поступлении NO_x и соединений хлора в него, что создает опасность УФ-облучения.

Загрязнение гидросферы. Потребление воды [8] в РФ в 2000 г. достигло 85,9 $км^3$, в том числе на нужды, %:

— производственные —57,9;
— хозяйственно-питьевые —20,3;
— орошение — 13,7;
— сельскохозяйственное водоснабжение —2,1;
— прочие —6,0.

При использовании воду, как правило, загрязняют, а затем сбрасывают в водоемы. Внутренние водоемы загрязняются сточными водами различных отраслей промышленности (металлургической, нефтеперерабатывающей, химической и др.), сельского и жилищно-коммунального хозяйства, а также поверхностными стоками. Основными источниками загрязнений являются промышленность и сельское хозяйство.

Загрязнители делятся на биологические (органические микроорганизмы), вызывающие брожение воды; химические, изменяющие химический состав воды; физические, изменяющие ее прозрачность (мутность), температуру и другие показатели.

Биологические загрязнения попадают в водоемы с бытовыми и промышленными стоками, в основном предприятий пищевой, медико-биологической, целлюлозно-бумажной промышленности. Например, целлюлозно-бумажный комбинат загрязняет воду так же, как город с населением 0,5 млн чел.

Биологические загрязнения оценивают биохимическим потреблением кислорода — БПК. $БПК_5$ — это количество кислорода, потребляемое за 5 сут микроорганизмами — деструкторами для полной минерализации органических веществ, содержащихся в 1 л воды. Нормативное значение $БПК_5$ = 5 мг/л. Реальные загрязнения сточных вод таковы, что требуют значений БПК на порядок больше.

Химические загрязнения поступают в водоемы с промышленными, поверхностными и бытовыми стоками. К ним относятся: нефтепродукты, тяжелые металлы и их соединения, минеральные удобрения, пестициды, моющие средства. Наиболее опасны свинец, ртуть, кадмий (табл. 2.4).

Физические загрязнения поступают в водоемы с промышленными стоками, при сбросах из выработок шахт, карьеров, при смывах с территорий промышленных зон, городов, транспортных магистра-

лей, за счет осаждения атмосферной пыли. Всего в 2000 г. в водоемы страны сброшено 55,6 км^3 сточных вод, из них 20,3 км^3 загрязненных (табл. 2.5).

Таблица 2.4. **Поступление тяжелых металлов в Мировой океан, т/год**

Химический элемент	Сток с суши	Атмосферный перенос
Свинец	$(1...20)10^5$	$(2...20)10^5$
Ртуть	$(5...8)^{103}$	$(2...3)10^3$
Кадмий	$(1...20)10^3$	$(5...40)10^2$

Таблица 2.5. **Содержание некоторых загрязняющих веществ в сточных водах, тыс. т**

Химическое соединение	1996 г.	2000 г.	2003 г.
Соединения меди	0,2	0,3	0,1
Соединения железа	19,7	8,2	6,5
Соединения цинка	0,8	0,7	0,5
Нефтепродукты	9,3	5,6	5,6
Взвешенные вещества	618,6	554,7	430,8
Соединения фосфора	32,4	26,4	23,6
Фенолы	0,08	0,07	0,05

В результате техногенной деятельности многие водоемы мира и нашей страны крайне загрязнены. Уровень загрязненности воды по отдельным ингредиентам превышает 10 ПДК. Наиболее высокий уровень загрязненности воды наблюдается в бассейнах рек Днестр, Печора, Обь, Енисей, Амур, Северная Двина, Волга, Урал. Воздействие на гидросферу приводит к следующим негативным последствиям:

— снижаются запасы питьевой воды (около 40 % контролируемых водоемов имеют загрязнения, превышающие 10 ПДК);

— изменяются состояние и развитие фауны и флоры водоемов;

— нарушается круговорот многих веществ в биосфере;

— снижаются биомасса планеты и, как следствие, воспроизводство кислорода.

Опасны не только первичные загрязнения поверхностных вод, но и вторичные, образовавшиеся в результате химических реакций веществ в водной среде. Так, при одновременном попадании весной 1990 г. в р. Белая фенолов и хлоридов образовались диоксины, содержание которых в 147 тыс. раз превысило допустимые значения.

Большую опасность загрязненные сточные воды представляют в тех случаях, когда структура грунта не исключает их попадание в зону залегания грунтовых вод. В ряде случаев до 30...40 % тяжелых металлов из почвы поступает в грунтовые воды.



Рис. 2.4. Динамика образования токсичных отходов в Российской Федерации, млн т

Загрязнение земель. Нарушение верхних слоев земной коры происходит при: добыче полезных ископаемых и их обогащении; захоронении бытовых и промышленных отходов; проведении военных учений и испытаний и т. п. Почвенный покров существенно загрязняется осадками в зонах рассеивания различных выбросов в атмосфере, пахотные земли — при внесении удобрений и применении пестицидов.

Ежегодно из недр страны извлекается огромное количество горной массы, вовлекается в оборот около трети, используется в производстве около 7 % объема добычи. Большая часть отходов не используется и скапливается в отвалах.

Примерами значительного накопления отходов, связанных с добычей полезных ископаемых, могут служить терриконы угольных шахт, отвалы вблизи карьеров при наземной добыче руд. Наиболее остро стоит вопрос утилизации отходов в угольной промышленности, поскольку на некоторых шахтах добыча 1 тыс. т угля сопровождается подъемом из шахт до 800 т породы.

Оценивая динамику изменения количества образовавшихся токсичных отходов (рис. 2.4), можно сделать вывод о постоянном росте данного показателя в промышленности и, как следствие, в целом по России: с 82,6 млн т в 1996 г. до 132,5 млн т в 2000 г. Практически весь объем образующихся токсичных отходов (95 %) имеет промышленное происхождение, а остальные 5 % отходов этой категории распределяются почти поровну между сельским хозяйством (3,7 млн т) и ЖКХ (3,4 млн т). По данным Госкомстата России, к 2000 г. в России накоплено 2 млрд т токсичных отходов.

Среди отраслей промышленности наибольшие объемы образования отходов отмечены в металлургии, на химических и нефтехимических производствах, в угольной промышленности (табл. 2.6).

Таблица 2.6. **Структура образования токсичных отходов промышленности Российской Федерации, %**

Отрасль промышленности	1996 г.	1998 г.	2000 г.
Промышленность	100	100	100
Цветная металлургия	24,5	20,1	28,8
Черная металлургия	40,8	33,7	25,8
Химическая и нефтехимическая промышленность	9,4	7,9	10,9
Угольная промышленность	0,2	11,2	9,7
Промышленность строительных материалов	6,0	6,4	7,1
Электроэнергетика	9,9	8,6	6,6
Нефтедобывающая промышленность	0,9	4,5	4,7
Машиностроение и металлообработка	3,0	3,2	2,5
Пищевая промышленность	1,2	0,6	1,2
Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность	1,5	1,1	1,0
Прочие отрасли промышленности	1,2	2,7	1,7

В настоящее время одной из самых острых проблем является утилизация и захоронение радиоактивных отходов и, прежде всего, отходов АЭС. Опасны и значительны отходы сельскохозяйственного производства — навоз, остатки ядохимикатов, кладбища животных.

В настоящее время в России ежегодно образуется около 150 млн $м^3$ (30 млн т) твердых бытовых отходов (ТБО). По прогнозам, к 2006 г. ежегодное накопление ТБО увеличится до 200 млн $м^3$, что объясняется увеличением доли тары и упаковки в массе продуктов и товаров. К твердым бытовым отходам относятся: бумага и картон, полимерные материалы, стекло, древесина, металлы и др.

Эффективность использования и обезвреживания отходов составляет около 40 % (ТБО —3 %). В России имеется 2,9 тыс. мест захоронения токсичных отходов общей площадью 22 тыс. га.

В связи с недостаточным количеством полигонов для складирования и захоронения промышленных и бытовых отходов широко распространена практика размещения их в местах неорганизованного складирования отходов, что представляет особую опасность для окружающей среды.

Существенно загрязнение земель в результате седиментации токсичных веществ из атмосферы. Наибольшую опасность представляют предприятия цветной и черной металлургии. Зоны загрязнений их выбросами имеют радиусы около 20...50 км, а превышение ПДК достигает 100 раз. К загрязнителям относятся высокотоксичные свинец, бенз(а)пирен, ртуть и др.

На европейской территории России [8] за 2000 г. с осадками выпало: оксидов серы и азота —2,4 млн т, свинца и его соединений — 2,739 тыс. т, ртути —68,8 т, бенз(а)пирена —80 т.

Опасны выбросы мусоросжигающих заводов, содержащие тетраэтилсвинец, ртуть, диоксины, бенз(а)пирен и т. п. Выбросы ТЭС содержат бенз(а)пирен, соединения ванадия, радионуклиды, кислоты и другие токсичные вещества. Зоны загрязнения почвы около трубы имеют радиусы 5 км и более.

Интенсивно загрязняются пахотные земли при внесении удобрений и использовании пестицидов. В последние годы многие страны стремились к сокращению применения пестицидов. Так, в США их использование с 1976 по 1993 г. сократилось на 60 %, в России — со 150 тыс. т в 1980 г. до 43,7 тыс. т в 1993 г., однако в 1987 г. около 30 % продуктов питания в РФ содержали концентрацию пестицидов, опасную для здоровья человека.

Внесение удобрений компенсирует изъятие растениями из почвы азота, фосфора, калия и других веществ. Однако вместе с удобрениями, содержащими эти вещества, в почву вносятся тяжелые металлы и их соединения, которые содержатся в удобрениях как примеси. К ним относятся: кадмий, медь, никель, свинец, хром и др. Выведение этих примесей из удобрений — трудоемкий и дорогой процесс. Особую опасность представляет использование в качестве удобрений осадков промышленных сточных вод, как правило, насыщенных отходами гальванического и других производств.

В табл. 2.7 приведены основные источники и наиболее распространенные группы веществ химического загрязнения почвы.

Таблица 2.7. **Источники и вещества, загрязняющие почву**

Вещества	Источники загрязнения почвы				
	промышленность	транспорт	ТЭС	АЭС	сельское хозяйство
Тяжелые металлы и их соединения (Hg, Pb, Cd и др.)	+	+	+	—	+
Циклические углеводороды, бенз(а)пирен	+	+	+	—	+
Радиоактивные вещества	+	—	+	+	—
Нитраты, нитриты, фосфаты, пестициды	—	—	—	—	

Техногенное воздействие на почву сопровождается:

— отторжением пахотных земель или уменьшением их плодородия. По данным ООН, ежегодно выводится из строя около 6 млн га плодородных земель;

— чрезмерным насыщением токсичными веществами растений, что неизбежно приводит к загрязнению продуктов питания растительного и животного происхождения. В настоящее время до 70 % токсичного воздействия на человека приходится на пищевые продукты;

— нарушением биоценозов вследствие гибели насекомых, птиц, животных, некоторых видов растений;

— загрязнением грунтовых вод, особенно в зоне свалок и сброса сточных вод.

Энергетические загрязнения техносферы. К зонам со значительными техногенными опасностями относятся транспортные магистрали, зоны излучения радио- и телепередающих систем, промышленные зоны и т. п. Возможно проявление опасности при использовании человеком на производстве и в быту технических устройств: электрических сетей и приборов, станков, ручного инструмента, газовых баллонов и газовых сетей, оружия и т. п. Возникновение опасности в таких случаях связано, как правило, с наличием неисправностей в технических устройствах или неправильными действиями человека при их использовании. Уровень опасности при этом определяется энергетическими показателями технических устройств, которые существенно возросли в XX столетии, поскольку человек получил в свое распоряжение мощную технику, огромные запасы углеводородного сырья, химических и бактериологических веществ.

Промышленные предприятия, объекты энергетики, связи и транспорт являются основными источниками энергетического загрязнения промышленных регионов, городской среды, жилищ и природных зон. К энергетическим загрязнениям относят вибрационное и акустическое воздействия, электромагнитные поля и излучения, воздействия радионуклидов и ионизирующих излучений.

Вибрации в городской среде и жилых зданиях, источниками которых являются технологическое оборудование ударного действия, рельсовый транспорт, строительные машины и тяжелый автотранспорт, распространяются по грунту. Протяженность зоны воздействия вибраций определяется величиной их затухания в грунте, которая, как правило, составляет 1 дБ/м (в водонасыщенных грунтах оно несколько больше). Чаще всего на расстоянии 50...60 м от магистралей рельсового транспорта вибрации затухают. Зоны действия вибраций около кузнечно-прессовых цехов, оснащенных молотами с облегченными фундаментами, значительно больше и могут иметь радиус до 150...200 м. Значительные вибрации и шум в жилых зданиях могут создавать расположенные в них технические устройства (насосы, лифты, трансформаторы и т. п.).

Шум в городской среде и жилых зданиях создается транспортными средствами, промышленным оборудованием, санитарно-техническими установками и устройствами и др. На городских магистралях и в прилегающих к ним зонах уровни звука могут достигать 70...80 дБА, а в отдельных случаях 90 дБА и более. В районе аэропортов уровни звука еще выше.

Источники инфразвука могут быть как естественного происхождения (обдувание ветром строительных сооружений и водной поверхности), так и техногенного (подвижные механизмы с большими поверхностями — виброплощадки, виброгрохоты; ракетные двигатели, ДВС большой мощности, газовые турбины, транспортные средства). В отдельных случаях уровни звукового давления инфразвука могут достигать нормативных значений, равных 90 дБ, и даже превышать их на значительных расстояниях от источника.

Основными источниками электромагнитных полей (ЭМП) радиочастот являются радиотехнические объекты (РТО), телевизионные и радиолокационные станции (РЛС), термические цехи и участки (в зонах, примыкающих к предприятиям). Воздействие ЭМП промышленной частоты чаще всего связано с высоковольтными линиями (ВЛ) электропередач, источниками постоянных магнитных полей, применяемыми на промышленных предприятиях. Зоны с повышенными уровнями ЭМП, источниками которых могут быть РТО и РЛС, имеют размеры до 100...150 м. При этом даже внутри зданий, расположенных в этих зонах, плотность потока энергии, как правило, превышает допустимые значения.

ЭМП промышленной частоты в основном поглощаются почвой, поэтому на небольшом расстоянии (50...100 м) от линий электропередач электрическая напряженность поля падает с десятков тысяч вольт на метр до нормативных уровней. Значительную опасность представляют магнитные поля, возникающие в зонах около ЛЭП токов промышленной частоты, и в зонах, прилегающих к электрифицированным железным дорогам. Магнитные поля высокой интенсивности обнаруживаются и в зданиях, расположенных в непосредственной близости от этих зон.

В быту источниками ЭМП и излучений являются телевизоры, дисплеи, печи СВЧ и другие устройства. Электростатические поля в условиях пониженной влажности (менее 70 %) создают паласы, накидки, занавески и т. д.

Микроволновые печи в промышленном исполнении не представляют опасности, однако неисправность их защитных экранов может существенно повысить утечки электромагнитного излучения. Экраны телевизоров и дисплеев как источник электромагнит-

ного излучения в быту не представляют большой опасности даже при длительном воздействии на человека, если расстояния от экрана превышают 30 см. Однако служащие отделов ЭВМ испытывают недомогание при регулярной длительной работе в непосредственной близости от дисплеев.

Воздействие ионизирующего излучения на человека может происходить в результате внешнего и внутреннего облучения. Внешнее облучение вызывают источники рентгеновского и γ-излучения, потоки протонов и нейтронов. Внутреннее облучение вызывают α- и β-частицы, которые попадают в организм человека через органы дыхания и пищеварительный тракт.

Основные источники ионизирующего облучения человека в окружающей среде и средние эквивалентные дозы облучения приведены ниже (в скобках указаны дозы для населения РФ на равнинной местности):

	мкЗв/год
Естественный фон:	
космическое облучение	320(300)
облучение от природных источников:	
внешнее	3590(320)
внутреннее	2000(1050)
Техногенные источники:	
медицинское обслуживание	400...700(1500)
ТЭС в радиусе 20 км.	3...5
АЭС в радиусе 10 км.	1,35
радиоактивные осадки (главным образом, последствия испытаний ядерного оружия в атмосфере).	75...200
телевизоры, дисплеи	4...5* при $l = 2$ м
керамика, стекло.	10
авиационный транспорт на высоте 12 км.	5 мкЗв/ч

Для человека, проживающего в промышленно развитых регионах РФ, годовая суммарная эквивалентная доза облучения из-за высокой частоты рентгенодиагностических обследований достигает 3000...3500 мкЗв/год (средняя на Земле доза облучения равна 2400 мкЗв/год). Для сравнения предельно допустимая доза для профессионалов (категория А) составляет $50 \cdot 10^3$ мкЗв/год.

---

*Доза облучения увеличивается с уменьшением расстояния l до экрана. При $l = 10$ см доза возрастает до 250...500 мкЗв/год.

Доза облучения, создаваемая техногенными источниками (за исключением облучений при медицинских обследованиях), невелика по сравнению с естественным фоном ионизирующего облучения, что достигается применением средств коллективной защиты. В тех случаях, когда на объектах экономики нормативные требования и правила радиационной безопасности не соблюдаются, уровни ионизирующего воздействия резко возрастают.

Рассеивание в атмосфере радионуклидов, содержащихся в выбросах, приводит к формированию зон загрязнения около источника выбросов. Обычно зоны облучения жителей, проживающих вокруг предприятий по переработке ядерного топлива на расстоянии до 200 км, колеблются от 0,1 до 65 % естественного фона излучения.

Миграция радионуклидов в водоемах и грунте значительно сложнее, чем в атмосфере. Это обусловлено не только параметрами процесса рассеивания, но и склонностью радионуклидов к концентрации в водных организмах, к накоплению в почве. Распределение (%) отдельных радиоизотопов между составляющими пресноводного водоема выглядит таким образом:

Изотоп	Вода	Грунт	Биомасса
^{32}P	10	28	62
^{60}Co	21	58	21
^{90}Sr	48	27	25
^{131}I	58	13	29
^{137}Cs	6	90	4

Эти данные свидетельствуют о том, что вода, составляющая 85 % массы Земли, содержит лишь 27 % радиоизотопов, а биомасса, составляющая 0,1 %, накапливает до 28 % радиоизотопов.

Миграция радиоактивных веществ в почве определяется в основном ее гидрологическим режимом, химическим составом почвы и радионуклидов. Меньшей сорбционной емкостью обладают песчаная почва, большей — глинистая, суглинки и черноземы. Высокой прочностью удержания в почве обладают ^{90}Sr и ^{137}Cs. Ориентировочные значения радиоактивного загрязнения сухой массы культурных растений следующие (Бк/кг):

	^{90}Sr	^{137}Cs
Пшеница	2,849	10,730
Морковь	0,555	1,887
Капуста	0,469	2,109
Картофель	0,185	1,406
Свекла	0,666	1,702
Яблоки	0,333	1,998

Эти загрязнения, обусловленные глобальными поступлениями радиоактивных веществ в почву, не превышают допустимые уровни. Опасность возникает лишь в случаях произрастания культур в зонах с повышенными радиоактивными загрязнениями.

Опыт ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС показывает, что ведение сельскохозяйственного производства недопустимо на территориях при плотности загрязнения выше 80 Ки/км^2, а на территориях, загрязненных до 40...50 Ки/км^2, необходимо ограничивать производство семенных и технических культур, а также кормов для молодняка и откормочного мясного скота. При плотности загрязнения 15...20 Ки/км^2 по ^{137}Cs сельскохозяйственное производство вполне допустимо.

Уровень радиоактивности в жилом помещении зависит от строительных материалов: в кирпичном, железобетонном, шлакоблочном доме он всегда в несколько раз выше, чем в деревянном. Газовая плита привносит в дом не только токсичные газы NO_x, CO и др., включая канцерогены, но и радиоактивные газы. Поэтому уровень радиоактивности на кухне может существенно превосходить фоновый при работающей газовой плите.

В закрытом, непроветриваемом помещении человек может подвергаться воздействию радона-222 и радона-220, которые непрерывно высвобождаются из земной коры. Поступая через фундамент, пол, из воды или иным путем, радон накапливается в изолированном помещении. Средние концентрации радона обычно составляют (кБк/м^3): в ванной комнате 8,5, на кухне 3, в спальне 0,2. Концентрация радона на верхних этажах зданий обычно ниже, чем на первом этаже. Избавиться от избытка радона можно проветриванием помещения.

В этом отношении поучителен опыт Швеции: с начала 50-х годов в стране проводится кампания по экономии энергии, в том числе путем уменьшения проветривания помещений. В результате средняя концентрация радона в помещениях возросла с 43 до 133 Бк/м^3 при снижении воздухообмена с 0,8 до 0,3 м^3/ч. По оценкам, на каждый 1 ГВт/год электроэнергии, сэкономленной за счет уменьшения проветривания помещений, шведы получили дополнительную коллективную дозу облучения в 5600 чел · Зв.

Из рассмотренных энергетических загрязнений в современных условиях наибольшее негативное воздействие на человека оказывают радиоактивное и акустическое загрязнения.

2.3. АНТРОПОГЕННЫЕ ОПАСНОСТИ

Деятельность человека является важным, необходимым звеном, обеспечивающим взаимосвязь технических систем. При этом человек, оперируя энергетическими и информационными потоками, решает задачи, состоящие из ряда этапов: восприятие информации; ее оценка, анализ и обобщение на основе заранее заданных и сформулированных критериев, принятие решения о дальнейших действиях, исполнение принятого решения. Однако на всех этапах деятельности возможны ошибочные действия человека.

Анализ данных по техногенным авариям и катастрофам показывает, что значительная доля опасностей возникает в результате ошибочных, неправильно принятых человеком решений, когда он сам становится источником опасности. По статистике около 45 % аварийных ситуаций на АЭС, свыше 60 % аварий на объектах с повышенным риском, 80 % авиакатастроф и катастроф на море, а также 90 % автомобильных аварий происходит из-за неправильных действий людей.

Ошибка определяется как невыполнение поставленной задачи (или выполнение человеком запрещенного действия), которое может явиться причиной тяжелых последствий — травм, гибели людей, повреждения оборудования или имущества либо нарушения нормального хода запланированных операций. Ошибки по вине человека могут происходить в различных сферах и условиях его жизнедеятельности:

— *на отдыхе, во время путешествия, при занятии спортом:* при управлении автотранспортом; неосторожном обращении с огнем, острыми предметами, оружием; при купании в водоемах; во время путешествия в горах; на тренировках и соревнованиях по различным видам спорта;

— *в быту*: при использовании электроприборов, бытового газа, открытого огня, ядохимикатов, инструмента и приспособлений; при обращении с бытовыми отходами, кипящими жидкостями, с предметами, содержащими ртуть; потреблении недоброкачественных продуктов, алкоголя, медикаментов и т. д.;

— *в сфере производственной деятельности:* при нарушении установленного режима работы и бездействии в момент, когда его участие в процессе деятельности необходимо;

— *в чрезвычайных ситуациях* естественного и техногенного происхождения, связанные, как правило, с неподготовленностью людей к действиям в ЧС; с неумением их предвидеть, например при обраще-

нии с горючими и взрывчатыми веществами или управлении сложными техническими системами; при сходе лавин, селей и т. п.;

— *при общении людей между собой:* источниками ошибок могут быть непорядочность, небрежность, месть, ревность, оскорбления, религиозные и национальные конфликты и т. п.;

— *при управлении экономикой и государственной деятельности* — ошибки часто обусловлены стремлением людей нарушить законы природы: например, строительство ЦБК на оз. Байкал, проекты поворота Северных рек на юг и др.

Свойство человека ошибаться является функцией его психологического состояния, и интенсивность ошибок во многом зависит от состояния окружающей среды и действующих на человека нагрузок. Установлено, что зависимость частоты появления ошибок от действующих нагрузок является нелинейной. Так, при очень низком уровне нагрузок большинство операторов работают неэффективно (задание кажется скучным и не вызывает интереса), и качество работы не соответствует должному. При умеренных нагрузках качество работы оператора оказывается оптимальным, поэтому умеренную нагрузку можно рассматривать как условия, достаточные для обеспечения внимательной работы человека-оператора. Но при дальнейшем увеличении нагрузок качество работы человека ухудшается, что объясняется, главным образом, такими проявлениями физического стресса, как страх, беспокойство, учащение пульса и частота дыхания, повышение температуры, выброс в кровь адреналина и т. п.

В системе «человек — среда обитания» человек является самой изменчивой составляющей. Его поведение определяется массой индивидуальных факторов. Часто разные операторы аналогичные задания выполняют неодинаковыми действиями.

Основные особенности личности и состояния организма человека, толкающие его к совершению ошибок, можно разделить на врожденные особенности и временные состояния.

К врожденным особенностям относятся физиологические характеристики человека и его наследственности, в том числе органы чувств (слух, зрение, обоняние, осязание, вкус), опорно-двигательная (мышечная сила, скорость движения, координация и т. п.) и психомоторная системы (рефлексы, реакции и т. д.), интеллект (уровень знаний, способность ориентироваться).

Временные состояния, такие как физическая и психологическая усталость, приводящие к снижению внимания и мышечной силы, ухудшению состояния здоровья и работоспособности, способствуют возникновению ошибок. В качестве факторов, отвлекающих внимание, могут быть временные функциональные нарушения организма

(например, неожиданно появившаяся острая головная боль, головокружение, судорога мышцы и т. п.), временное переключение внимания на какое-то событие или предмет, не связанные с работой; утомление, внезапное внешнее воздействие (шум или яркая вспышка света).

Причины ошибок подразделяют на непосредственные, главные и способствующие.

Непосредственные причины ошибок зависят от психологической структуры действий оператора (ошибки восприятия — не узнал, не обнаружил; ошибки памяти — забыл, не запомнил, не сумел восстановить; ошибки мышления — не понял, не предусмотрел, не обобщил; ошибки принятия решения, ответной реакции и т. п.) и вида этих действий, т. е. от психологических закономерностей, определяющих оптимальную деятельность — несоответствие психическим возможностям переработки информации (объем или скорость поступления информации, отношение к порогу различения, малая длительность сигнала и т. д.) от недостатка навыка (стандартные действия при нестандартной ситуации) и структуры внимания (не сосредоточился, не собрался, не переключился, быстро устал).

Главные причины связаны с рабочим местом, организацией труда, подготовкой оператора, состоянием организма, психологической установкой, психическим состоянием организма.

Способствующие причины зависят от особенностей личности (характера, темперамента, коммукативных особенностей), состояния здоровья, внешних условий, профессионального отбора, обучения и тренировки.

Причины ошибок можно также классифицировать, используя кибернетическую схему. Это ошибки:

— в ориентации (неполучение информации);
— в принятии решения (неправильные решения);
— в выполнении действий (неправильные действия).

Ошибки в ориентации наиболее распространенные и возникают обычно из-за отсутствия сигнала, слабого сигнала или множества одновременных сигналов.

Ошибки в принятии решения могут возникать и в том случае, когда получена вся необходимая достоверная информация и в достаточном объеме, но процесс анализа, переработки и осмысления ее был неверным, или из-за неадекватной оценки ситуации, неприспособленности к работе из-за недостатка знаний, опыта.

Иногда информация и принятое решение могут быть правильными, но ответное действие ошибочным. Неправильное действие может проявляться и в бездействии оператора в тот момент, когда его дейст-

вие необходимо (неспособность к действию, нарушение последовательности действий) или в неправильном выборе действий (неадекватное расположение приборов, недостаточность внимания, усталость и т. д.).

Виды ошибок, допускаемых человеком на различных стадиях создания и использования технических систем, можно классифицировать следующим образом:

— ошибки проектирования — обусловлены неудовлетворительным качеством проектирования. Например, управляющие устройства и индикаторы могут быть расположены настолько далеко друг от друга, что оператор будет испытывать затруднения при одновременном пользовании ими;

— ошибки изготовления и ремонта — например, неправильной сварки, неправильного выбора материала, изготовления изделия с отклонениями от конструкторской документации;

— ошибки технического обслуживания в процессе эксплуатации вследствие недостаточной подготовленности обслуживающего персонала, неудовлетворительного оснащения необходимой аппаратурой и инструментами;

— ошибки обращения возникают вследствие неудовлетворительного хранения изделий или их транспортировки с отклонениями от рекомендаций изготовителя;

— ошибки в организации рабочего места — теснота рабочего помещения, повышенная температура, шум, недостаточная освещенность и т. п.;

— ошибки в управлении коллективом — недостаточное стимулирование специалистов, их психологическая несовместимость и т. п.

Перечень допускаемых человеком типичных ошибок не может быть точным и неоспоримым, поскольку свойство человека ошибаться является функцией его психофизиологического состояния, а частота появления ошибок во многом определяется состоянием внешней среды и интенсивностью действующих нагрузок.

При оценке роли антропогенных опасностей в их общей совокупности следует понимать, что во многих случаях они играют роль «спускового механизма» — инициатора возникновения многих техногенных, а иногда и естественных опасностей. Так, неправильная оценка водителем дорожной ситуации может привести к потере управления автомобилем, а затем и к взрыву и пожару последнего с непредсказуемыми последствиями. Решение о строительстве ЦБК на оз. Байкал привело в дальнейшем к техногенному загрязнению озера отходами комбината. Принятие решений о проведении подземных

испытаний ядерного оружия может при их реализации привести к значительным изменениям в земной коре и стать инициатором землетрясений и т. д.

Контрольные вопросы к главе 2

1. Перечислите естественные опасности.
2. Назовите причины появления и роста техногенных опасностей в среде обитания.
3. Как возникают кислотные дожди?
4. Опишите явление, которое называют «парниковый эффект».
5. Какие вещества загрязняют гидросферу?
6. Перечислите виды энергетических загрязнений техносферы.
7. Назовите причины возникновения и виды ошибок оператора.

Глава 3

ЗОНЫ С ВЫСОКОЙ СОВОКУПНОСТЬЮ ОПАСНОСТЕЙ В ТЕХНОСФЕРЕ

Зонами повышенной опасности в техносфере являются: индустриально развитые регионы, промышленные и селитебные зоны крупных городов: производственная среда объектов экономики; зоны воздействия стихийных природных явлений и техногенных аварий на объектах экономики и на транспорте. В этих зонах на людей воздействуют, как правило, совокупности опасностей.

3.1. ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА РЕГИОНОВ И КРУПНЫХ ГОРОДОВ

По регионам России выбросы и сбросы загрязняющих веществ распределяются неравномерно. Ниже приведены данные по выбросам и сбросам в регионах России, %:

Регион	Доля выбросов	Доля сбросов
Северный	13,3	5,8
Северо-Западный	1,9	8,4
Калининградская область	0,2	0,7
Центральный	6,7	20,6
Центрально-Черноземный	2,9	2,4
Волго-Вятский	2,3	4,4
Поволжский	6,8	9,6
Северо-Кавказский	2,8	15,5

Регион	Доля выбросов	Доля сбросов
Уральский	22,6	12,0
Западно-Сибирский	17,4	6,0
Восточно-Сибирский	18,2	9,3
Дальневосточный	4,9	5,3

Наибольшие загрязнения поступают в Уральский, Центральный, Северный, Восточно-Сибирский и Западно-Сибирский регионы. Более полное представление о состоянии окружающей среды дают сведения о загрязнениях по отдельным городам и промышленным центрам. Список городов с максимальными концентрациями загрязняющих веществ в атмосферном воздухе выше 10 ПДК в 2000 г. состоял из 40 городов, где проживают 23,3 млн чел.

Практически все города с населением более 1 млн человек, а также Санкт-Петербург и Москва должны быть отнесены к I или II категории экологического неблагополучия, которые оцениваются как «наиболее высокое» и «очень высокое». Как правило, это крупные промышленные центры с такими отраслями производства, как металлургия, химия и нефтехимия (табл. 3.1).

Таблица 3.1. **Города с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха в 2003 г. (извлечение)**

Город	Вещества, определяющие уровень загрязнения атмосферного воздуха	Город	Вещества, определяющие уровень загрязнения атмосферного воздуха
Братск	Диоксид азота, сероуглерод, бенз(а)пирен	Норильск	Формальдегид, диоксид серы, фенол
Екатеринбург	Бенз(а)пирен, формальдегид, акролеин	Саратов	Диоксид азота, формальдегид, взвешенные вещества, бенз(а)пирен
Иркутск	Формальдегид, бенз(а)пирен, диоксид азота		
Кемерово	Сероуглерод, бенз(а)пирен, формальдегид		
Краснодар	Фенол, формальдегид, бенз(а)пирен		
Липецк	Аммиак, формальдегид, бенз(а)пирен	Череповец	Формальдегид, бенз(а)пирен, сероуглерод
Магнитогорск	Сероуглерод, бенз(а)пирен, формальдегид		

Чрезвычайно высокая насыщенность крупных городов транспортом вносит очень весомый вклад в их загрязнение. Доля выбросов автотранспорта в загрязнении воздушного бассейна, как правило, составляет 40...50 % и более, в Москве приближается к 90 %. В связи с бурным развитием автомобилизации в последние годы проблема загрязнения воздушного бассейна обостряется. Большая интенсивность движения транспортных потоков в улично-дорожной сети городов, достигающая 1000...3000 авт/ч и более, при несовершенстве и чрезвычайной загруженности улично-дорожной сети определяет повышенное загрязнение основными компонентами автомобильных выбросов — оксидами азота, бенз(а)пиреном, оксидом углерода.

С негативным воздействием транспорта связано и шумовое загрязнение городов. Около 40...50 % населения крупных городов живут в условиях акустического дискомфорта. На наиболее загруженных городских магистралях, вдоль железных дорог и в зонах влияния аэропортов допустимые уровни шума превышаются на 30...40 дБ, что представляет опасность для здоровья населения.

К наиболее загрязненным почвам металлами относятся территории и примыкающие к ним зоны следующих городов России: Норильск, Мончегорск, Санкт-Петербург, Белово, Кировград, Рудная Пристань и др. Загрязнение почв Санкт-Петербурга в долях от ПДК составляет:

Загрязняющее вещество	**Зоны**		
	отдыха	*селитебная*	*промышленная*
Никель	1,5	1,5	2,6
Медь	1,6	1,8	4,2
Ртуть	0,2	0,1	0,2
Свинец	3,0	3,6	5,5

Процесс урбанизации «наградил» крупные города и другими факторами неблагополучия. Прежде всего, это нарушения микроклиматического режима, изменения режима подземных вод и определяемые этим процессы подтопления городских территорий, загрязнение подземных и поверхностных вод.

В результате значительных техногенных нагрузок в большинстве городов происходит дальнейшая деградация растительности, что ухудшает состояние городской среды.

3.2. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СРЕДА

Производственная среда — это часть техносферы, обладающая повышенной совокупностью негативных факторов. Основными носителями травмирующих и вредных факторов в производственной среде являются машины и другие технические устройства, химически и биологически активные предметы труда, источники энергии, нерегламентированные действия работающих, нарушения режимов и организации деятельности, а также отклонения от допустимых параметров микроклимата рабочей зоны.

Травмирующие и вредные факторы подразделяют на физические, химические, биологические и психофизиологические. Физические факторы — движущиеся машины и механизмы, повышенные уровни шума и вибраций, электромагнитных и ионизирующих излучений, недостаточная освещенность, повышенный уровень статического электричества, повышенное значение напряжения в электрической цепи и др.; химические — вещества и соединения, различные по агрегатному состоянию и обладающие токсическим, раздражающим, сенсибилизирующим, канцерогенным и мутагенным воздействием на организм человека и влияющие на его репродуктивную функцию; биологические — патогенные микроорганизмы (бактерии, вирусы и др.) и продукты их жизнедеятельности, а также животные и растения; психофизиологические — физические перегрузки (статические и динамические) и нервно-психические (умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Травмирующие и вредные факторы производственной среды, характерные для большинства современных производств, приведены в табл. 3.2.

Конкретные производственные условия характеризуются совокупностью негативных факторов, а также различаются по уровням вредных факторов и риску проявления травмирующих факторов.

Таблица 3.2. **Негативные факторы производственной среды**

Факторы	Источники и зоны действия фактора
	Физические
Запыленность воздуха рабочей зоны	Зоны переработки сыпучих материалов, участки выбивки и очистки отливок, сварки и плазменной обработки, обработки пластмасс, стеклопластиков и других хрупких материалов, участки дробления материалов и т. п.
Вибрации:	
общие	Виброплощадки, транспортные средства, строительные машины

Факторы	Источники и зоны действия фактора
локальные	Виброинструмент, рычаги управления транспортных машин
Акустические колебания:	
инфразвук	Зоны около виброплощадок, мощных двигателей внутреннего сгорания и других высокоэнергетических систем
шум	Зоны около технологического оборудования ударного действия, устройств для испытания газов, транспортных средств, энергетических машин
ультразвук	Зоны около ультразвуковых генераторов, дефектоскопов: ванны для ультразвуковой обработки
Статическое электричество	Зоны около электротехнического оборудования на постоянном токе, зоны окраски распылением, синтетические материалы
Электромагнитные поля и излучения	Зоны около линий электропередач, установок ТВЧ и индукционной сушки, электроламповых генераторов, телеэкранов, дисплеев, антенн, магнитов
Инфракрасная радиация	Нагретые поверхности, расплавленные вещества, излучение пламени
Лазерное излучение	Лазеры, отраженное лазерное излучение
Ультрафиолетовая радиация	Зоны сварки, плазменной обработки
Ионизирующие излучения	Ядерное топливо, источники излучений, применяемые в приборах, дефектоскопах и при научных исследованиях
Электрический ток	Электрические сети, электроустановки, распределители, трансформаторы, оборудование с электроприводом и т. д.
Движущиеся машины, механизмы, материалы, изделия, части разрушающихся конструкций и т. п.	Зоны движения наземного транспорта, конвейеров, подземных механизмов, подвижных частей станков, инструмента, передач. Зоны около систем повышенного давления, емкостей со сжатыми газами, трубопроводов, пневмогидроустановок
Высота, падающие предметы	Строительные и монтажные работы, обслуживание машин и установок
Острые кромки	Режущий и колющий инструменты, заусенцы, шероховатые поверхности, металлическая стружка, осколки хрупких материалов
Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов	Паропроводы, газоводы, криогенные установки, холодильное оборудование, расплавы
Химические	
Загазованность рабочей зоны	Утечки токсичных газов и паров из негерметичного оборудования, испарения из открытых емкостей и при проливах, выбросы веществ при разгерметизации оборудования, окраска распылением, сушка окрашенных поверхностей

Факторы	Источники и зоны действия фактора
Запыленность рабочей зоны	Сварка и плазменная обработка материалов с содержанием Cr_2O_3, MnO, пересыпка и транспортирование дисперсных материалов, окраска распылением, пайка свинцовыми припоями, пайка бериллия и прибоями, содержащими бериллий
Попадание ядов на кожные покровы и слизистые оболочки	Гальваническое производство, заполнение емкостей, распыление жидкостей (опрыскивание, окраска поверхностей)
Попадание ядов в желудочно-кишечный тракт	Ошибки при применении жидкостей, умышленные действия
Биологические	
Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ)	Обработка материалов с применением эмульсолов
Психофизиологические	
Физические перегрузки:	
статические	Продолжительная работа с дисплеями, работа в неудобной позе
динамические	Подъем и перенос тяжестей, ручной труд
Нервно-психические перегрузки:	
умственное перенапряжение	Труд научных работников, преподавателей, студентов
перенапряжение анализаторов	Операторы технических систем, авиадиспетчеры, работа с дисплеями
монотонность труда	Наблюдение за производственным процессом
эмоциональные перегрузки	Работа авиадиспетчеров, творческих работников

Примечание. В тех случаях, когда в рабочей зоне не обеспечены комфортные условия труда, источником физических вредных факторов могут быть повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны, повышенное или пониженное атмосферное давление, повышенные влажность и скорость движения воздуха, неправильная организация освещения (недостаточная освещенность, повышенная яркость, пониженная контрастность, блесткость, повышенная пульсация светового потока). Вредные воздействия возникают также при недостатке кислорода в воздухе рабочей зоны.

Источниками негативных воздействий на производстве являются не только технические устройства. На уровень травматизма оказывают влияние антропогенные факторы: психофизическое состояние и действия работающих. На рис. 3.1 показаны статистические данные (А.В. Невский) о травматизме у строителей в зависимости от их трудового стажа. Характер изменения травматизма в начале трудовой деятельности *I* обусловлен отсутствием достаточных знаний и навы-

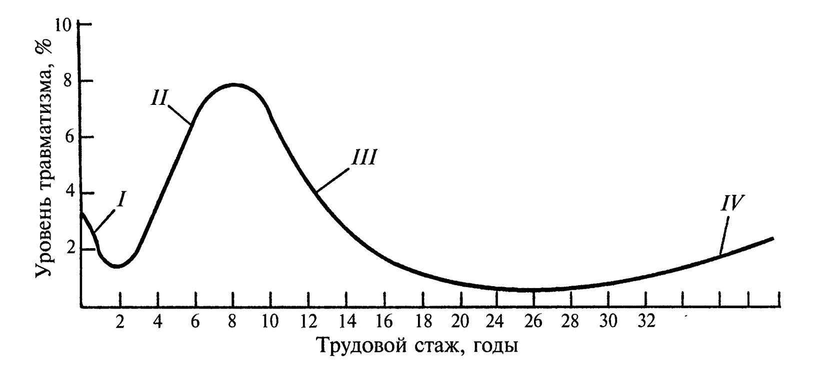


Рис. 3.1. Статистическая кривая динамики травматизма строителей

ков безопасной работы в первые трудовые дни и последующим приобретением этих навыков. Рост уровня травматизма при стаже 2...7 лет (*II*) объясняется во многом небрежностью, халатностью и сознательным нарушением требований безопасности этой категорией работающих. При стаже 7...21 год динамика травматизма (*III*) определяется приобретением профессиональных навыков, осмотрительностью, правильным отношением работающих к требованиям безопасности. Для зоны *IV* характерно некоторое повышение травматизма, как правило, обусловленное ухудшением психофизического состояния работающих.

3.3. ЗОНЫ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Чрезвычайные ситуации возникают при стихийных явлениях и при техногенных авариях. В наибольшей степени аварийность свойственна угольной, горнорудной, химической, нефтегазовой и металлургической отраслям промышленности, геологоразведке, объектам котлонадзора, газового и подъемно-транспортного хозяйства, а также транспорту. Сведения о ЧС техногенного характера в РФ приведены в табл. 3.3 и 3.4.

Таблица 3.3. **Чрезвычайные ситуации, происшедшие на территории Российской Федерации за 1999—2004 гг.**

Чрезвычайные ситуации по характеру и виду источников возникновения	Число ЧС	
	1999 г.	2004 г.
Крушения, аварии на железнодорожном транспорте	10	4
Аварии грузовых и пассажирских судов	21	19
Авиационные катастрофы	29	35
Крупные автомобильные катастрофы	98	116
Аварии на магистральных и внутрипромысловых трубопроводах	46	55

Чрезвычайные ситуации по характеру и виду источников возникновения	Число ЧС	
	1999 г.	2004 г.
Пожары (взрывы) в зданиях, на коммуникациях, технологическом оборудовании промышленных и сельскохозяйственных объектов	79	11
Пожары (взрывы) в зданиях и сооружениях жилого, социально-бытового и культурного назначения	288	502
Обнаружение (утрата) неразорвавшихся боеприпасов, взрывчатых веществ	42	22
Аварии с выбросом (угрозой выброса) аварийно-химически опасных веществ (АХОВ)	97	21
Аварии с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ (РВ)	15	4
Внезапное обрушение производственных зданий, сооружений, пород	4	9
Обрушение зданий и сооружений жилого, социально-бытового и культурного назначения	15	3
Аварии на электроэнергетических системах	22	8
Аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения	29	11
Аварии на тепловых сетях в холодное время года	60	13
Гидродинамические аварии	1	1

Таблица 3.4. **Аварии на предприятиях и объектах, подконтрольных Госгортехнадзору России, в 1999—2000 гг.**

Предприятия, объекты хозяйственной деятельности	Число аварий	
	1999 г.	2000 г.
Предприятия угольной промышленности	39	34
Предприятия горнорудной промышленности	16	15
Предприятия нефтегазодобывающих отраслей промышленности	19	17
Объекты магистрального трубопроводного транспорта	43	48
Предприятия химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности	32	26
Предприятия металлургической промышленности	5	4
Перевозка опасных грузов железнодорожным транспортом (инциденты)	1125	1126
Прочие объекты	—	81

Как следует из приведенных данных, наибольшее число ЧС обусловлено пожарами и взрывами, авариями на предприятиях, связанных с обращением АХОВ, эксплуатацией средств транспорта, систем коммунального жизнеобеспечения и на тепловых сетях.

Возникновение чрезвычайных ситуаций в промышленных условиях и в быту часто связано с разгерметизацией систем повышенного

давления (баллонов и емкостей для хранения или перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов, газо- и водопроводов, систем теплоснабжения и т. п.).

Наибольшую опасность представляют аварии на объектах ядерной энергетики и химического производства. Так, авария на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС в первые дни после аварии привела к повышению уровня радиации над естественным фоном до 1000...1500 раз в зоне около станции и до 10...20 раз в радиусе 200...250 км. При авариях все продукты ядерного деления высвобождаются в виде аэрозолей (за исключением редких газов и иода) и распространяются в атмосфере в зависимости от силы и направления ветра. Размеры облака в поперечнике могут изменяться от 30 до 300 м, а размеры зон загрязнения в безветренную погоду могут иметь радиус до 180 км при мощности реактора 100 МВт.

В чрезвычайных ситуациях проявление первичных негативных факторов (землетрясение, взрыв, обрушение конструкций, столкновение транспортных средств и т. п.) может вызвать цепь вторичных негативных воздействий (эффект «домино») — пожар, загазованность или затопление помещений, разрушение систем повышенного давления, химическое, радиоактивное и бактериальное воздействие и т. п. Последствия (число травм и жертв, материальный ущерб) от действия вторичных факторов часто превышают потери от первичного воздействия. Характерным примером этому является авария на Чернобыльской АЭС. Причины, вид и последствия от некоторых аварий приведены в табл. 3.5.

Основными причинами крупных техногенных аварий являются:

— отказы технических систем из-за дефектов изготовления и нарушений режимов эксплуатации; многие современные потенциально опасные производства спроектированы так, что вероятность крупной аварии на них весьма высока и оценивается величиной риска 10^{-4} и более;

Таблица 3.5. **Причины и последствия некоторых аварий**

Место, год	Причины	Вид	Последствия
Чикаго, 1973	Отказ оборудования	Взрыв и пожар хранилища сжиженного газа	Уничтожено все в радиусе 1 км, около 500 чел. погибли, несколько тысяч пострадали
Севезо, 1976	—	Взрыв, выброс 2...2,5 кг диоксина	Заражена территория площадью 10 км^2, эвакуировано около тысячи человек

Место, год	Причины	Вид	Последствия
США, 1986	Авария при транспортировании химических веществ по железной дороге	Пожар с выбросами серы и фосфата	Эвакуация более 30 тыс. чел.
Базель, 1986	—	Пожар на складе химических препаратов	Загрязнена р. Рейн, погибло много тонн рыбы, нарушена жизнедеятельность 20 млн чел.

— ошибочные действия операторов технических систем; статистические данные показывают, что более 60е% аварий произошло в результате ошибок обслуживающего персонала;

— концентрация различных производств в промышленных зонах без должного изучения их взаимодействия;

— высокий энергетический уровень технических систем;

— внешние негативные воздействия на объекты энергетики, транспорта. Одной из распространенных причин пожаров и взрывов, особенно на объектах нефтегазового и химического производства и при эксплуатации средств транспорта, являются разряды статистического электричества, а в последние годы теракты.

Структура количественных показателей погибших и пострадавших по видам ЧС в 2004 г. отражена в табл. 3.6.

Таблица 3.6. **Структура количественных показателей погибших и пострадавших в 2004 г. по видам ЧС**

Вид ЧС	Численность пострадавших, чел.	Численность погибших, чел.
Техногенные	3504	1930
Природные	16475	27
Биолого-социальные	2331	6
Теракты	827	469

Контрольные вопросы к главе 3

1. Назовите зоны техносферы с высокой совокупностью опасностей.

2. Какие травмирующие и вредные факторы производственной среды характерны для машиностроительного производства?

3. Назовите основные причины техногенных аварий.

Раздел III

ЧЕЛОВЕК И ТЕХНОСФЕРА

Глава 4

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ ТРУДА

4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ ФОРМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Характер и организация трудовой деятельности оказывают существенное влияние на изменение функционального состояния организма человека. Многообразные формы трудовой деятельности делятся на физический и умственный труд.

Физический труд характеризуется нагрузкой на опорно-двигательный аппарат и функциональные системы организма человека (сердечно-сосудистую, нервно-мышечную, дыхательную и др.), обеспечивающие его деятельность. Физический труд, развивая мышечную систему и стимулируя обменные процессы, в то же время имеет ряд отрицательных последствий. Прежде всего это социальная неэффективность физического труда, связанная с низкой его производительностью, необходимостью высокого напряжения физических сил и потребностью в длительном — до 50 % рабочего времени — отдыхе.

Умственный труд объединяет работы, связанные с приемом и переработкой информации, требующей преимущественного напряжения сенсорного аппарата, внимания, памяти, а также активизации процессов мышления, эмоциональной сферы. Для данного вида труда характерна *гипокинезия*, т. е. значительное снижение двигательной активности человека, приводящее к ухудшению реактивности организма и повышению эмоционального напряжения. Гипокинезия является одним из условий формирования сердечно-сосудистой патологии у лиц умственного труда. Длительная умственная нагрузка оказывает угнетающее влияние на психическую деятельность: ухудшаются функции внимания (объем, концентрация, переключение), памяти (кратковременной и долговременной), восприятия (появляется большое число ошибок).

В современной трудовой деятельности человека объем чисто физического труда незначителен. В соответствии с существующей физиологической классификацией трудовой деятельности различают:

— *формы труда, требующие значительной мышечной активности.* Этот вид трудовой деятельности имеет место при отсутствии механизированных средств для выполнения работ и характеризуется повышенными энергетическими затратами;

— *механизированные формы труда.* Особенностью механизированных форм труда являются изменения характера мышечных нагрузок и усложнение программы действий. В условиях механизированного производства наблюдается уменьшение объема мышечной деятельности, в работу вовлекаются мелкие мышцы конечностей, которые должны обеспечить большую скорость и точность движений, необходимых для управления механизмами. Однообразие простых и большей частью локальных действий, однообразие и малый объем воспринимаемой в процессе труда информации приводят к монотонности труда и быстрому наступлению утомления;

— *формы труда, связанные с полуавтоматическим и автоматическим производством.* При таком производстве человек выключается из процесса непосредственной обработки предмета труда, который целиком выполняет механизм. Задача человека ограничивается выполнением простых операций на обслуживание станка: подать материал для обработки, пустить в ход механизм, извлечь обработанную деталь. Характерные черты этого вида работ — монотонность, повышенный темп и ритм работы, утрата творческого начала;

— *групповые формы труда — конвейер.* Эта форма труда определяется дроблением процесса труда на операции, заданным ритмом, строгой последовательностью выполнения операций, автоматической подачей деталей к каждому рабочему месту с помощью конвейера. При этом чем меньше интервал времени, затрачиваемый работающим на операцию, тем монотоннее работа, тем упрощеннее ее содержание, что приводит к преждевременной усталости и быстрому нервному истощению;

— *формы труда, связанные с дистанционным управлением.* При этих формах труда человек включен в системы управления как необходимое оперативное звено, нагрузка на которое уменьшается с возрастанием степени автоматизации процесса управления. Различают формы управления производственным процессом, требующие частых активных действий человека, и формы управления, в которых действия оператора носят эпизодический характер, и основная его задача сводится к контролю показаний приборов и поддержанию постоянной готовности к вмешательству при необходимости в процесс управления объектом;

— *формы интеллектуального (умственного) труда* подразделяются на операторский, управленческий, творческий, труд медицинских

работников, труд преподавателей, учащихся, студентов. Эти виды различаются организацией трудового процесса, равномерностью нагрузки, степенью эмоционального напряжения.

Работа оператора отличается большой ответственностью и высоким нервно-эмоциональным напряжением. Например, труд авиадиспетчера характеризуется переработкой большого объема информации за короткое время и повышенной нервно-эмоциональной напряженностью.

Труд руководителя учреждений, предприятий (*управленческий труд*) определяется чрезмерным объемом информации, возрастанием дефицита времени для ее переработки, повышенной личной ответственностью за принятые решения, периодическим возникновением конфликтных ситуаций.

Труд преподавателей и медицинских работников отличается постоянными контактами с людьми, повышенной ответственностью, часто дефицитом времени и информации для принятия правильного решения, что обусловливает степень нервно-эмоционального напряжения.

Труд учащихся и студентов характеризуется напряжением таких основных психических функций, как память, внимание, восприятие; наличием стрессовых ситуаций (экзамены, зачеты).

Наиболее сложная форма трудовой деятельности, требующая значительного объема памяти, напряжения, внимания,— это *творческий труд.* Труд научных работников, конструкторов, писателей, композиторов, художников, архитекторов приводит к значительному повышению нервно-эмоционального напряжения. При таком напряжении, связанном с умственной деятельностью, можно наблюдать тахикардию, повышение кровяного давления, увеличение легочной вентиляции и потребления кислорода, повышение температуры тела и другие изменения со стороны вегетативных функций человека.

4.2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Энергия, необходимая человеку для жизнедеятельности, выделяется в его организме в процессе окислительно-восстановительного распада углеводов, белков, жиров и других органических соединений, содержащихся в продуктах питания. Окислительно-восстановительные реакции в живых организмах могут протекать как с участием кислорода (аэробное окисление), так и без участия кислорода (анаэробное окисление). Анаэробное окисление характеризуется меньшим

количеством высвобождаемой энергии и имеет ограниченное значение у высших организмов.

При аэробном окислении 1 г жира в организме высвобождается 38,94 кДж, а при окислении 1 г белка или 1 г углеводов —17,6 кДж энергии. Эта энергия частично расходуется на совершение полезной работы и частично рассеивается в виде теплоты, нагревая тело человека и окружающую среду (КПД мышечных тканей человека — 40...60 %).

Совокупность химических реакций в организме человека называется **обменом веществ.** Для характеристики суммарного энергетического обмена веществ используют понятия основного обмена и обмена при различных видах деятельности.

Основной обмен характеризуется величиной энергетических затрат в состоянии полного мышечного покоя в стандартных условиях (при комфортной температуре окружающей среды, спустя 12...16 ч после приема пищи в положении лежа). Энергозатраты на процессы жизнедеятельности в этих условиях для человека массой 75 кг составляют 87,5 Вт.

Изменение позы, интенсивности мышечной деятельности, информационной насыщенности труда, степени эмоционального напряжения и других факторов приводят к дополнительным затратам энергии. Так, в положении сидя за счет работы мышц туловища затраты энергии превышают на 5...10 % уровень общего обмена, в положении стоя — на 10...15 %, при вынужденной неудобной позе — на 40...50 %.

При интенсивной интеллектуальной работе потребность мозга в энергии составляет 15...20 % основного обмена (масса мозга составляет 2 % массы тела). Повышение суммарных энергетических затрат при умственной работе определяется степенью нервно-эмоциональной напряженности. Так, при чтении вслух сидя расход энергии повышается на 48 %, при выступлении с публичной лекцией — на 94 %, у операторов вычислительных машин — на 60...100 %. Повышение обмена веществ и расхода энергии при работе приводит к повышению теплообразования. При тяжелой физической работе температура тела может повышаться на 1...1,5°C.

Уровень энергозатрат может служить критерием тяжести и напряженности выполняемой работы, имеющим важное значение для оптимизации условий труда и его рациональной организации. Уровень энергозатрат определяют методом непрямой калориметрии, т. е. полного газового анализа (учитывается объем потребления кислорода и выделенного углекислого газа). С увеличением тяжести труда значительно возрастает потребление кислорода и количество расходуемой

энергии, отсюда наблюдаются различные суточные энергозатраты человека, МДж:

Работники умственного труда (инженеры, врачи, педагоги и др.) .	10,5...11,7
Работники механизированного труда и сферы обслуживания (медсестры, продавцы, рабочие, обслуживающие автоматы и др.).	11,3...12,5
Работники, выполняющие работу средней тяжести (станочники, шоферы, хирурги, полиграфисты, литейщики, сельскохозяйственные рабочие и др.)	12,5...15,5
Работники, выполняющие тяжелую работу (лесорубы, грузчики, горнорабочие, металлурги и др.)	16,3...18,0

4.3. КЛАССИФИКАЦИЯ УСЛОВИЙ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Условия труда — *это совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на здоровье и работоспособность человека в процессе труда.*

В соответствии с ГОСТ 12.0.002—80 различают четыре группы факторов трудовой деятельности:

— *физические факторы,* включающие микроклиматические параметры и запыленность воздушной среды, все виды излучений, виброакустические характеристики рабочего места и качество освещения;

— *химические факторы,* включающие некоторые вещества биологической природы;

— *биологические факторы,* куда отнесены патогенные микроорганизмы, белковые препараты, а также препараты, содержащие живые клетки и споры микроорганизмов;

— *факторы трудового процесса.*

Условия труда, при которых воздействие на работающего вредных и опасных производственных факторов исключено или их уровень не превышает гигиенических нормативов (Р.2.2.2006—05 «Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса»), называют **безопасными условиями труда.**

Условия труда в целом оцениваются по четырем классам, которые представлены схемой на рис. 4.1. *Безопасные условия труда* — это оптимальные (1-й класс) и допустимые (2-й класс) условия.

Оптимальные (комфортные) условия труда (1-й класс) обеспечивают максимальную производительность труда и минимальную напряженность организма человека. Этот класс установлен только для оценки параметров микроклимата и факторов трудового процесса. Для остальных факторов условно оптимальными считаются такие ус-

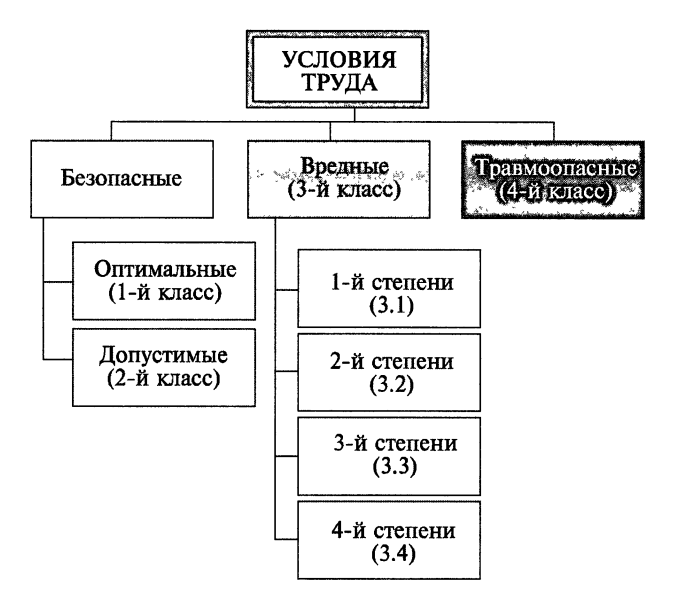


Рис. 4.1. Классы условий труда

ловия труда, при которых неблагоприятные факторы не превышают безопасных пределов для населения.

Допустимые условия труда (2-й класс) характеризуются такими уровнями факторов среды и трудового процесса, которые не превышают установленных гигиеническими нормативами для рабочих мест. Возможные изменения функционального состояния организма восстанавливаются во время регламентированного отдыха или к началу следующей смены и не должны оказывать неблагоприятное воздействие в ближайшем и отдаленном периоде на состояние здоровья работающего и его потомство. Оптимальный и допустимый классы соответствуют безопасным условиям труда.

Вредные условия труда (3-й класс) характеризуются наличием вредных производственных факторов, превышающих гигиенические нормативы и оказывающих неблагоприятное воздействие на организм работающего и/или его потомства. В зависимости от уровня превышения нормативов факторы этого класса подразделяются на четыре степени вредности:

3.1— вызывающие обратимые функциональные изменения организма;

3.2— приводящие к стойким функциональным нарушениям и росту заболеваемости;

3.3— приводящие к развитию профессиональной патологии в легкой форме и росту хронических заболеваний;

3.4— приводящие к возникновению выраженных форм профессиональных заболеваний, значительному росту хронических и высокому уровню заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

Травмоопасные (экстремальные) условия труда (4-й класс). Уровни производственных факторов этого класса таковы, что их воздействие на протяжении рабочей смены или ее части создает угрозу для жизни и/или высокий риск возникновения тяжелых форм острых профессиональных заболеваний.

Работа в условиях несоответствия нормативным требованиям возможна только с сокращением времени воздействия вредных производственных факторов, т. е. сокращением рабочей смены — защита временем.

Степень вредности условий труда 3-го класса определяют по сумме значений фактических степеней вредности, тяжести и напряженности труда: $X_{фдк} = x_{ф1} + x_{ф2} + ... + x_{фn} = \sum_{i=1}^{n} x_{фi}$. Число баллов по каждому фактору $x_{ф1}$ представляется в карте условий труда с учетом продолжительности его действия в течение смены $x_{ф1} = x_{ст1} \cdot T_i$, где $x_{ст1}$ — степень вредности фактора или тяжести работ, устанавливаемая по показаниям гигиенической классификации труда; $T_i = \tau_{ф1}/\tau_{рс}$ — отношение времени действия данного фактора $\tau_{ф1}$ к продолжительности рабочей смены $\tau_{рс}$; если $\tau_{ф1} \geq \tau_{рс}$, то $T_i = 1{,}0$.

В зависимости от фактического состояния условия труда руководителями предприятий и организаций по согласованию с профсоюзами устанавливается доплата в размере 4...24 % тарифной ставки. Доплаты устанавливаются по конкретным рабочим местам и начисляются рабочим за время фактической занятости на этих местах. По согласованию с профсоюзом временно сроком до одного года размеры доплат могут быть выше, чем установлено расчетом, но не более 12 % для тяжелых и вредных условий труда и 24 % — на работах с особо тяжелыми и особо вредными условиями труда.

4.4. ОЦЕНКА ТЯЖЕСТИ И НАПРЯЖЕННОСТИ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Тяжесть и напряженность труда характеризуются степенью функционального напряжения организма. Оно может быть энергетическим, зависящим от мощности работы — при физическом труде, и

эмоциональным — при умственном труде, когда имеет место информационная перегрузка.

Физическая тяжесть труда — это нагрузка на организм при труде, требующая преимущественно мышечных усилий и соответствующего энергетического обеспечения. Классификация труда по тяжести производится по уровню энергозатрат с учетом вида нагрузки (статическая или динамическая) и нагружаемых мышц.

Динамическая работа — процесс сокращения мышц, приводящий к перемещению груза, а также самого тела человека или его частей в пространстве. При этом энергия расходуется как на поддержание определенного напряжения в мышцах, так и на механический эффект работы. Величина динамической нагрузки определяется по формуле

$$A = G\left(mH + \frac{ml}{9} + \frac{mH_1}{2}\right),$$

где A — динамическая нагрузка, кгм; m — масса груза или прилагаемое усилие, кг; H — высота подъема груза, м; l — расстояние перемещения груза, м; H_1 — расстояние опускания груза, м; G — коэффициент, равный 6.

В соответствии с критериями оценки при региональной нагрузке (работа с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса) до 2500 кгм она считается оптимальной (легкой), до 5000 кгм — допустимой (средней), а при превышении последней величины условия труда считаются вредными (тяжелый труд) трех степеней тяжести в зависимости от превышения.

Оценка массы перерабатываемого груза позволяет отнести условия труда к оптимальным (до 15 кг), допустимым (до 30 кг) или вредным условиям труда 1-й степени тяжести. Вторая и третья степени тяжести отсутствуют, так как ручная переработка грузов массой более 30 кг не допускается.

Статическая нагрузка связана с затратой человеком усилий без перемещения тела или отдельных его частей. Она характеризуется величиной удерживаемого груза (или прилагаемого усилия) и временем удержания его в статическом состоянии и рассчитывается по формуле

$$P = mt,$$

где m — масса груза или статическое усилие, кг; t — время фиксации усилия, с. Для расчета статической нагрузки необходимо определить не только массу удерживаемого груза, но и указать группу участвующих мышц. Так, при легкой физической нагрузке (оптимальный класс условий труда) величина статической нагрузки за смену при

удержании груза двумя руками не должна превышать 18 000 кг · с, при удержании груза с участием мышц корпуса и ног —43 000 кг · с, а при работе средней тяжести — соответственно 36 000 и 100 000 кг · с.

Кроме статической, динамической нагрузки и массы поднимаемого и перемещаемого груза, оценка условий труда по тяжести трудового процесса производится по рабочей позе, количеству наклонов за смену, количеству стереотипных рабочих движений и перемещением в пространстве, обусловленным технологическим процессом.

Оптимальность рабочей позы определяется соответствием параметров рабочей поверхности и кресла. Оптимальные условия допускают до 50 наклонов за смену (один наклон примерно за 10 мин). Если же наклоны с углом более 30° достигают 100 раз за смену, то условия относят к допустимым.

При повторяющихся (стереотипных) рабочих движениях мышц кистей и пальцев рук (локальная нагрузка) до 20 000 условия труда считаются оптимальными. Свыше 20 000 до 40 000— допустимыми. Если число движений достигает 60 000, то условия труда относят к вредным — 1-й степени.

Под перемещением в пространстве понимают переходы в течение смены, обусловленные технологическим процессом. Ходьба до 4 км — оптимальные условия труда; от 4 до 10 км — допустимые, а до 15 км и свыше — соответственно вредные условия труда 1-й и 2-й степеней. Третья степень оценки перемещений в пространстве не предусмотрена.

Напряженность труда характеризуется эмоциональной нагрузкой на организм при труде, требующем преимущественно интенсивной работы мозга по получению и переработке информации.

Наиболее легким считают умственный труд, в котором отсутствует необходимость принятия решения. Такие условия труда считаются оптимальными. Если же оператор работает и принимает решения в рамках одной инструкции, то такие условия труда относятся к допустимым. К напряженным вредным условиям 1-й степени относят труд, который связан с решением сложных задач по известным алгоритмам или работой с использованием нескольких (более одной) инструкций. Творческая (эвристическая) деятельность, требующая решения сложных задач при отсутствии очевидного алгоритма решения, должна быть отнесена к напряженному труду 2-й степени тяжести.

Обработка какой-либо информации или выполнение задания без оценки его результатов является менее сложным трудом, что позволяет оценивать его как оптимальный. Если же к указанным действиям добавляется необходимость проверки полученного результата, то такие условия труда являются допустимыми. Работа по распределению

производственного задания между другими лицами и контроль за их работой относятся к напряженному труду 2-й степени.

Напряженность труда зависит от длительности сосредоточенного наблюдения и числа одновременно наблюдаемых объектов (контрольно-измерительные приборы, продукт производства и т. п.). При длительности сосредоточенного наблюдения до 25 % от продолжительности рабочей смены условия труда характеризуются как оптимальные, 26—50 % — допустимые, 51—75 % — напряженный труд 1-й степени, а при длительности сосредоточенного наблюдения более 75 % условия труда следует относить ко 2-й степени напряженности.

Работа с видеодисплейными терминалами до двух часов за смену считается оптимальной, до трех — допустимой. Работа за компьютером или наблюдение за процессом по видеотерминалу свыше указанного времени определяет класс условий труда как напряженный: от 3 до 4 ч — первой степени (класс 3.1), более 4 ч — второй степени (класс 3.2).

Существенное влияние на степень напряженного состояния исполнителя оказывает ответственность за конечный или промежуточный результат труда. Если оператор несет ответственность за выполнение только отдельных элементов производственного задания, то такой труд оценивается как оптимальный. Повышение степени ответственности, например, за функциональное качество вспомогательных операций влечет за собой дополнительные эмоциональные усилия со стороны непосредственного руководителя (бригадира, мастера и др.). В этих случаях труд оценивается как допустимый. Если на исполнителе лежит ответственность за функциональное качество основной работы, что может повлечь необходимость принятия решений, связанных с исправлением (переделкой) результатов за счет дополнительных усилий всего коллектива, то такой вид деятельности является напряженным 1-й степени (класс 3.1). Если же работник несет персональную ответственность за функциональное качество конечного продукта, производственного задания в целом или его действия могут привести к поломке оборудования, остановке всего технологического процесса или создать ситуацию, опасную для жизни, его условия труда оцениваются как напряженные 2-й степени (класс 3.2).

При отсутствии риска для собственной жизни в процессе выполнения своих обязанностей труд исполнителя считают оптимальным, если же он вероятен, то условия труда относят к классу 3.2— напряженный труд 2-й степени. Аналогично устанавливается класс условий труда при оценке степени риска за безопасность других лиц, участвующих в производственном процессе.

Однообразие выполняемых операций приводит к определенному техническому состоянию человека, называемому *монотомией*. Признаком монотомии является либо перегрузка одинаковой информацией, либо недостаток новой. Это накладывает отпечаток на функциональное состояние человека: он теряет интерес к выполняемой работе. Для него рабочее время как бы остановилось, и он с нетерпением ждет окончания смены, его клонит ко сну. Монотонная работа снижает эффективность труда, увеличивает текучесть кадров, аварийность и, как следствие, травматизм на производстве.

Степень монотонности определяется числом элементов (приемов труда при реализации простого задания или многократно повторяющихся операций) и продолжительностью во времени выполнения этих элементов или операций. Если число элементов составляет 10 и более, то условия труда считают оптимальными; от 9 до 6— допустимыми; менее 6— напряженными.

Важными факторами, характеризующими класс условий труда по напряженности трудового процесса, являются фактическая продолжительность рабочего дня и сменность работы. При продолжительности рабочего дня до 7 ч условия труда относят к оптимальному классу, до 9 ч — к допустимому, более 9 ч — к напряженному. Продолжительность непрерывной работы до 12 ч относят к 1-й степени, а более 12 ч — к напряженному труду 2-й степени. Односменная работа без ночной смены — оптимальные условия; двусменная работа без работы в ночную смену — допустимые условия труда и трехсменная работа с работой в ночную смену — напряженный труд 1-й степени.

Длительная работа в условиях постоянного нервно-эмоционального напряжения может привести к сердечно-сосудистым заболеваниям. Всякое воздействие, превышающее допустимые пределы, вызывает нарушение деятельности анализаторов и даже приводит к болевым ощущениям. Задача разработчиков технологических процессов — не допустить перенапряжение высшей нервной деятельности, иначе может наступить стресс. Понятие «стресс» в переводе означает «напряжение». Стресс появляется в экстремальных ситуациях при невозможности адаптации организма к чрезвычайным воздействиям. Производственный процесс должен быть организован таким образом, чтобы появление стрессов было исключено. Появление стресса в аварийной обстановке становится причиной неправильных действий оператора, зачастую усугубляющих производственную ситуацию. Эффективным средством профилактики стрессов при экстремальных условиях является профессиональная подготовка на тренажерах, имитирующих аварийные ситуации.

4.5. РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И ЕЕ ДИНАМИКА

Основным показателем трудовой деятельности человека принято считать его **работоспособность,** т. е. способность производить сформированные, целенаправленные действия, характеризующиеся количеством и качеством работы за определенное время.

Работоспособность создается в результате происходящих в организме процессов в нервной системе, двигательном аппарате, органах дыхания и кровообращения, которые определяют потенциальные возможности человека выполнять конкретную работу при заданных режимах. При непрерывной работе мышцы, нервные клетки и различные органы должны расходовать только определенное количество энергии, не превышающее ее предела работоспособности. Когда расход энергии превышает этот предел, работоспособность падает.

Во время трудовой деятельности работоспособность организма закономерно изменяется по суточному ритму. В течение суток организм по-разному реагирует на физическую и нервно-психическую нагрузку. В соответствии с суточным циклом организма наивысшая работоспособность отмечается в утренние (с 8 до 12) и дневные (с 14 до 17) часы. В дневное время наименьшая работоспособность, как правило, отмечается в период между 12 и 14 ч, а в ночное время — с 3 до 4 ч, достигая своего минимума. С учетом этих закономерностей определяют сменность работы предприятий, начало и окончание работы в сменах, перерывы на отдых и сон. Изменение работоспособности в течение рабочей смены имеет несколько фаз:

фаза врабатывания или нарастающей работоспособности; в этот период уровень работоспособности постепенно повышается по сравнению с исходным; в зависимости от характера труда и индивидуальных особенностей человека этот период длится от нескольких минут до 1,5 ч, а при умственном творческом труде — до 2...2,5 ч;

фаза высокой устойчивости работоспособности; для нее характерно сочетание высоких трудовых показателей с относительной стабильностью или даже некоторым снижением напряженности физиологических функций; продолжительность этой фазы может составлять 2...2,5 ч и более в зависимости от тяжести и напряженности труда;

фаза снижения работоспособности, характеризующаяся уменьшением функциональных возможностей основных работающих органов человека и сопровождающаяся чувством усталости.

Периодическое чередование работы и отдыха способствует сохранению высокой устойчивости работоспособности. Различают две

формы чередования периодов труда и отдыха на производстве: введение обеденного перерыва в середине рабочего дня и кратковременных регламентированных перерывов. Оптимальную длительность обеденного перерыва устанавливают с учетом удаленности от рабочих мест санитарно-бытовых помещений, столовых, организации раздачи пищи. Продолжительность и число кратковременных перерывов определяют на основе наблюдений за динамикой работоспособности, учета тяжести и напряженности труда.

При выполнении работы, требующей значительных усилий и участия крупных мышц, рекомендуются более редкие, но продолжительные 10...12-минутные перерывы. При выполнении особо тяжелых работ (металлурги, кузнецы и др.) следует сочетать работу в течение 15...20 мин с отдыхом такой же продолжительности. При работах, требующих большого нервного напряжения и внимания, быстрых и точных движений рук, целесообразны более частые, но короткие 5...10-минутные перерывы.

Кроме регламентированных перерывов, существуют микропаузы — перерывы в работе, возникающие самопроизвольно между операциями и действиями. Микропаузы обеспечивают поддержание оптимального темпа работы и высокого уровня работоспособности. В зависимости от характера и тяжести работы микропаузы составляют 9...10 % рабочего времени.

Чередование периодов труда и отдыха в течение недели должно регулироваться с учетом динамики работоспособности. Наивысшая работоспособность приходится на 2, 3 и 4-й день работы, в последующие дни недели она понижается, падая до минимума в последний день работы в связи с утомлением организма.

Утомление — психофизиологическое состояние человека, сопровождающееся чувством усталости, вызванное интенсивной или длительной деятельностью, выражающееся в ухудшении количественных и качественных показателей работы и прекращающееся после отдыха. Утомление — это обратимое физиологическое состояние человека. Однако, если работоспособность не восстанавливается к началу следующего периода работы, утомление может накапливаться и переходить в **переутомление** — более стойкое снижение работоспособности, которое в дальнейшем ведет к развитию болезней, снижению сопротивляемости организма инфекционным заболеваниям. Утомление и переутомление могут быть причиной повышенного травматизма на производстве.

Различают быстро и медленно развивающееся утомление: первое возникает при очень интенсивной работе (работа грузчика, каменщика, работника творческого труда и др.), второе — при длительной

мало интересной однообразной работе (труд водителя, работа на конвейере и др.).

Физиологическая картина физического и умственного утомления сходна. Умственное и физическое утомление влияют друг на друга. Так, при тяжелом физическом утомлении умственная работа малопродуктивна, и, наоборот, при умственном утомлении падает мышечная работоспособность. При умственном утомлении отмечается расстройство внимания, ухудшение памяти и мышления, ослабляется точность и координированность движения.

Повышение работоспособности и снижение утомляемости на производстве достигаются за счет повышения квалификации работников и технического совершенствования производственного процесса.

Контрольные вопросы к главе 4

1. Перечислите основные виды и формы жизнедеятельности человека.
2. Определите специфику труда преподавателей и студентов.
3. Что такое основной обмен веществ? От каких факторов зависят дополнительные затраты энергии для совершения различных видов жизнедеятельности?
4. По каким параметрам оценивается физическая тяжесть труда?
5. По каким параметрам оценивается напряженность труда?
6. Назовите классы условий труда. Какие факторы положены в основу деления условий труда на классы?
7. Что такое оптимальные и допустимые условия труда?
8. Что такое работоспособность и какова ее динамика?

Глава 5
КОМФОРТНЫЕ УСЛОВИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

5.1. ТЕПЛООБМЕН ЧЕЛОВЕКА С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Одним из необходимых условий нормальной жизнедеятельности человека является обеспечение нормальных метеорологических условий в помещениях, оказывающих существенное влияние на тепловое самочувствие человека. Метеорологические условия, или микроклимат, зависят от теплофизических особенностей технологического процесса, климата, сезона года, условий отопления и вентиляции.

Жизнедеятельность человека сопровождается непрерывным выделением теплоты в окружающую среду. Ее количество зависит от степени физического напряжения в определенных климатических условиях и составляет от 85 Вт (в состоянии покоя) до 500 Вт (при тяжелой работе). Для того чтобы физиологические процессы в организ-

ме протекали нормально, выделяемая организмом теплота должна полностью отводиться в окружающую среду. Нарушение теплового баланса может привести к перегреву либо к переохлаждению организма и, как следствие, к потере трудоспособности, быстрой утомляемости, потере сознания и тепловой смерти.

Одним из важных интегральных показателей теплового состояния организма является средняя температура тела (внутренних органов) порядка 36,5°С. Она зависит от степени нарушения теплового баланса и уровня энергозатрат при выполнении физической работы. При выполнении работы средней тяжести и тяжелой при высокой температуре воздуха температура тела может повышаться от нескольких десятых градуса до 1...2°С. Наивысшая температура внутренних органов, которую выдерживает человек, составляет + 43°С, минимальная + 25°С. Температурный режим кожи играет основную роль в теплоотдаче. Ее температура меняется в довольно значительных пределах, и при нормальных условиях средняя температура кожи под одеждой составляет 30...34°С. При неблагоприятных метеорологических условиях на отдельных участках тела она может понижаться до 20°С, а иногда и ниже.

Нормальное тепловое самочувствие имеет место, когда тепловыделение $Q_{тп}$ человека полностью воспринимается окружающей средой $Q_{то}$, т. е. когда имеет место тепловой баланс $Q_{тп} = Q_{то}$, то в этом случае температура внутренних органов остается постоянной. Если теплопродукция организма не может быть полностью передана окружающей среде ($Q_{тп} > Q_{то}$), происходит рост температуры внутренних органов и такое тепловое самочувствие характеризуется понятием **жарко.** Теплоизоляция человека, находящегося в состоянии покоя (отдых сидя или лежа), от окружающей среды приведет к повышению температуры внутренних органов уже через 1 ч на 1,2°С. Теплоизоляция человека, производящего работу средней тяжести, вызовет повышение температуры уже на 5°С и вплотную приблизится к максимально допустимой. В случае, когда окружающая среда воспринимает больше теплоты, чем ее воспроизводит человек ($Q_{тп} < Q_{то}$), происходит охлаждение организма. Такое тепловое самочувствие характеризуется понятием **холодно.**

Теплообмен между человеком и окружающей средой осуществляется конвекцией $Q_к$ в результате омывания тела воздухом, теплопроводностью $Q_т$, излучением на окружающие поверхности $Q_л$ и в процессе тепломассообмена ($Q_{тм} = Q_п + Q_д$), при испарении влаги, выводимой на поверхность кожи потовыми железами $Q_п$, и при дыхании $Q_д$:

$$Q_{тп} = Q_{к} + Q_{п} + Q_{л} + Q_{тм}.$$

Конвективный теплообмен определяется законом Ньютона:

$$Q_{к} = \alpha_{к} F_{э}(t_{пов} - t_{ос}),$$

где $\alpha_{к}$ — коэффициент теплоотдачи конвекцией; при нормальных параметрах микроклимата $\alpha_{к} = 4{,}06$ Вт/(м^2 · °С); $t_{пов}$ — температура поверхности тела человека (для практических расчетов зимой около 27,7°С, летом — около 31,5°С); $t_{ос}$ — температура воздуха, омывающего тело человека; $F_{э}$ — эффективная поверхность тела человека (размер эффективной поверхности тела зависит от положения его в пространстве и составляет приблизительно 50...80 % геометрической внешней поверхности тела человека); для практических расчетов $F_{э} = 1{,}8$ м^2. Значение коэффициента теплоотдачи конвекцией можно определить приближенно как $\alpha_{к} = \lambda/\delta$, где λ — коэффициент теплопроводности пограничного слоя, Вт/(м · °С); δ — толщина пограничного слоя омывающего газа, м.

Удерживаемый на внешней поверхности тела пограничный слой воздуха (до 4...8 мм при скорости движения воздуха $w = 0$) препятствует отдаче теплоты конвекцией. При увеличении атмосферного давления (В) и в подвижном воздухе толщина пограничного слоя уменьшается и при скорости движения воздуха 2 м/с составляет около 1 мм. Передача теплоты конвекцией тем больше, чем ниже температура окружающей среды и чем выше скорость движения воздуха. Заметное влияние оказывает и относительная влажность воздуха φ, так как коэффициент теплопроводности воздуха является функцией атмосферного давления и влагосодержания воздуха.

На основании изложенного выше, можно сделать вывод, что величина и направление конвективного теплообмена человека с окружающей средой определяются в основном температурой окружающей среды, атмосферным давлением, подвижностью и влагосодержанием воздуха, т. е. $Q_{к} = f(t_{ос};\ В;\ w;\ \varphi)$.

Передачу теплоты теплопроводностью можно описать уравнением Фурье:

$$Q_{т} = (\lambda_0/\delta_0) F_{э}/(t_{пов} - t_{ос}),$$

где λ_0 — коэффициент теплопроводности тканей одежды человека, Вт/(м · °С); δ_0 — толщина одежды человека, м. Теплопроводность тканей человека мала, поэтому основную роль в процессе транспортирования теплоты играет конвективная передача с потоком крови.

Лучистый поток при теплообмене излучением тем больше, чем ниже температура окружающих человека поверхностей. Он может

быть определен с помощью обобщенного закона Стефана — Больцмана:

$$Q_п = C_{пр} \varepsilon F_1 \psi_{1-2} \{(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4\}, \qquad (5.1)$$

где $C_{пр}$ — приведенный коэффициент излучения, Вт/(м^2 · К^4); ε — степень черноты окружающих предметов; F_1 — площадь поверхности, излучающей лучистый поток, м^2; ψ_{1-2} — коэффициент облучаемости, зависящий от расположения и размеров поверхностей F_1 и F_2 и показывающий долю лучистого потока, приходящегося на поверхность F_2 от всего потока, излучаемого поверхностью F_1; T_1 — средняя температура поверхности тела и одежды человека, К; T_2 — средняя температура окружающих поверхностей, К.

Для практических расчетов в диапазоне температур окружающих человека предметов 10...60°С приведенный коэффициент излучения $C_{пр} \approx 4{,}9$ Вт/(м^2 · К^4). Коэффициент облучаемости ψ_{1-2} обычно принимают равным 1,0. В этом случае значение лучистого потока зависит в основном от степени черноты ε и температуры окружающих предметов, т. е. $Q_п = f(T_{оп};\ \varepsilon)$.

Количество теплоты, отводимое человеком в окружающую среду при испарении влаги, выводимой на поверхность потовыми железами, $Q_п = G_п r$, где $G_п$ — масса выделяемой и испаряющейся влаги, кг/с; r — скрытая теплота испарения выделяющейся влаги, Дж/кг.

Данные о потовыделении в зависимости от температуры воздуха и физической нагрузки человека приведены в табл. 5.1. Как видно из данных таблицы, количество выделяемой влаги меняется в значительных пределах. Так, при температуре воздуха 30°С у человека, не занятого физическим трудом, влаговыделение составляет 2 г/мин, а при выполнении тяжелой работы увеличивается до 9,5 г/мин.

Количество теплоты, отдаваемой в окружающий воздух с поверхности тела при испарении пота, зависит не только от температуры воздуха и интенсивности работы, выполняемой человеком, но и от скорости движения окружающего воздуха и его относительной влажности, т. е. $Q_п = f(t_{ос};\ В;\ w;\ \varphi;\ J)$, где J — интенсивность труда, производимого человеком, Вт.

В процессе дыхания воздух окружающей среды, попадая в легочный аппарат человека, нагревается и одновременно насыщается водяными парами. В технических расчетах можно принимать (с запасом), что выдыхаемый воздух имеет температуру 37°С и полностью насыщен.

Таблица 5.1. **Количество влаги, выделяемой с поверхности кожи и из легких человека, г/мин**

Характеристика выполняемой работы (по Н.К. Витте)	Температура воздуха, °С				
	16	18	28	35	45
Покой, $J = 100$*	0,6	0,74	1,69	3,25	6,2
Легкая, $J = 200$	1,8	2,4	3,0	5,2	8,8
Средней тяжести, $J = 350$	2,6	3,0	5,0	7,0	11,3
Тяжелая, $J = 490$	4,9	6,7	8,9	11,4	18,6
Очень тяжелая, $J = 695$	6,4	10,4	11,0	16,0	21,0

*Интенсивность труда J, Вт.

Количество теплоты, расходуемой на нагревание выдыхаемого воздуха,

$$Q_{д} = V_{лв}\rho_{вд}C_{р}(t_{выд} - t_{вд}),$$

где $V_{лв}$ — объем воздуха, вдыхаемого человеком в единицу времени, «легочная вентиляция», м^3/с; $\rho_{вд}$ — плотность вдыхаемого влажного воздуха, кг/м^3; $C_р$ — удельная теплоемкость выдыхаемого воздуха, Дж/(кг · °С); $t_{выд}$ — температура выдыхаемого воздуха, °С; $t_{вд}$ — температура вдыхаемого воздуха, °С.

«Легочная вентиляция» определяется как произведение объема воздуха, вдыхаемого за один вдох, $V_{вв}$ м^3 на частоту дыхания в секунду n; $V_{лв} = V_{вв}\, n$. Частота дыхания человека непостоянна и зависит от состояния организма и его физической нагрузки. В состоянии покоя с каждым вдохом в легкие поступает около 0,5 л воздуха. При выполнении тяжелой работы объем вдоха-выдоха может возрастать до 1,5...1,8 л. Среднее значение легочной вентиляции в состоянии покоя примерно 0,4...0,5 л/с, а при физической нагрузке в зависимости от напряжения может достигать 4 л/с.

Таким образом, количество теплоты, выделяемой человеком с выдыхаемым воздухом, зависит от его физической нагрузки, влажности и температуры окружающего (вдыхаемого) воздуха: $Q_{тм} = f(J; \varphi; t_{ос})$. Чем больше физическая нагрузка и ниже температура окружающей среды, тем больше отдается теплоты с выдыхаемым воздухом. С увеличением температуры и влажности окружающего воздуха количество теплоты, отводимой через дыхание, уменьшается.

Анализ приведенных выше уравнений позволяет сделать вывод, что тепловое самочувствие человека, или тепловой баланс, в системе «человек — среда обитания» зависит от температуры среды, подвижности и относительной влажности воздуха, атмосферного давления,

температуры окружающих предметов и интенсивности физической нагрузки организма: $Q_{тп} = f(t_{ос};\ w;\ \varphi;\ B;\ T_{оп};\ J)$.

Параметры — температура окружающих предметов и интенсивность физической нагрузки организма — характеризуют конкретную производственную обстановку и отличаются большим многообразием. Остальные параметры — температура, скорость, относительная влажность и атмосферное давление окружающего воздуха — получили название параметров **микроклимата.**

5.2. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА НА САМОЧУВСТВИЕ ЧЕЛОВЕКА

Параметры микроклимата оказывают непосредственное влияние на тепловое самочувствие человека и его работоспособность. Например, понижение температуры и повышение скорости воздуха способствуют усилению конвективного теплообмена и процесса теплоотдачи при испарении пота, что может привести к переохлаждению организма. При повышении температуры воздуха возникают обратные явления.

Исследованиями установлено, что при температуре воздуха более 30°С работоспособность человека начинает падать. Для человека определены максимальные температуры в зависимости от длительности их воздействия и используемых средств защиты. Предельная температура вдыхаемого воздуха, при которой человек в состоянии дышать в течение нескольких минут без специальных средств защиты, около 116°С.

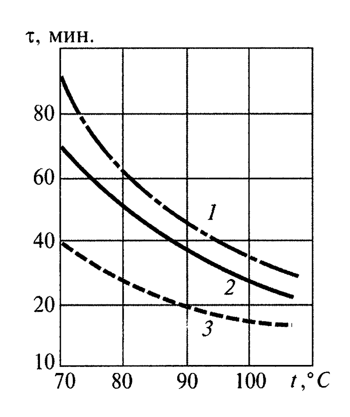


Рис. 5.1. Переносимость высоких температур в зависимости от длительности их воздействия:

1 — верхняя граница выносливости; *2* — среднее время выносливости; *3* — граница появления симптомов перегрева

На рис. 5.1 представлены ориентировочные данные о переносимости температур, превышающих 60°С. Существенное значение имеет равномерность температуры. Вертикальный градиент ее не должен выходить за пределы 5°С.

Переносимость человеком температуры, как и его теплоощущение, в значительной мере зависит от влажности и скорости окружающего воздуха. Чем больше относительная влажность, тем меньше испаряется пота в единицу времени и тем быстрее наступает перегрев тела. Особенно неблагоприятное воздействие на теп-

ловое самочувствие человека оказывает высокая влажность при t_{oc} ... 30°С, так как при этом почти вся выделяемая теплота отдается в окружающую среду при испарении пота. При повышении влажности пот не испаряется, а стекает каплями с поверхности кожного покрова. Возникает так называемое «проливное» течение пота, изнуряющее организм и не обеспечивающее необходимую теплоотдачу.

Недостаточная влажность воздуха также может оказаться неблагоприятной для человека вследствие интенсивного испарения влаги со слизистых оболочек, их пересыхания и растрескивания, а затем и загрязнения болезнетворными микроорганизмами. Поэтому при длительном пребывании людей в закрытых помещениях рекомендуется ограничиваться относительной влажностью в пределах 30...70 %.

Вопреки установившемуся мнению величина потовыделения мало зависит от недостатка воды в организме или от ее чрезмерного потребления. У человека, работающего в течение 3 ч без приема жидкости, образуется только на 8 % меньше пота, чем при полном возмещении потерянной влаги. При потреблении воды вдвое больше потерянного количества наблюдается увеличение потовыделения всего на 6 % по сравнению со случаем, когда вода возмещалась на 100 %. Считается допустимым для человека снижение его массы на 2...3 % путем испарения влаги — *обезвоживание организма*. Обезвоживание на 6 % влечет за собой нарушение умственной деятельности, снижение остроты зрения; испарение влаги на 15...20 % приводит к смертельному исходу.

Вместе с потом организм теряет значительное количество минеральных солей (до 1 %, в том числе 0,4...0,6 % $NaCl$). При неблагоприятных условиях потеря жидкости может достигать 8—10 л за смену и в ней до 60 г поваренной соли (всего в организме около 140 г $NaCl$). Потеря соли лишает кровь способности удерживать воду и приводит к нарушению деятельности сердечно-сосудистой системы. При высокой температуре воздуха легко расходуются углеводы, жиры, разрушаются белки.

Для восстановления водного баланса людям, работающим в горячих цехах, устанавливают автоматы с подсоленной (около 0,5 % $NaCl$) газированной питьевой водой из расчета 4...5 л на человека в смену. На многих заводах для этих целей применяют белково-витаминный напиток. В жарких климатических условиях рекомендуется пить охлажденную питьевую воду или чай.

Длительное воздействие высокой температуры особенно в сочетании с повышенной влажностью может привести к значительному накоплению теплоты в организме и развитию перегревания организма выше допустимого уровня — *гипертермии* — состоянию, при кото-

ром температура тела поднимается до 38...39°С. При гипертермии и, как следствие, тепловом ударе наблюдаются головная боль, головокружение, общая слабость, искажение цветового восприятия, сухость во рту, тошнота, рвота, обильное потовыделение. Пульс и дыхание учащены, в крови увеличивается содержание азота и молочной кислоты. При этом наблюдается бледность, синюшность, зрачки расширены, временами возникают судороги, потеря сознания.

Производственные процессы, выполняемые при пониженной температуре, большой подвижности и влажности воздуха, могут быть причиной охлаждения и даже переохлаждения организма — *гипотермии*. В начальный период воздействия умеренного холода наблюдается уменьшение частоты дыхания, увеличение объема вдоха. При продолжительном действии холода дыхание становится неритмичным, частота и объем вдоха увеличиваются, изменяется углеводный обмен. Увеличение обменных процессов при понижении температуры на 1°С составляет около 10 %, а при интенсивном охлаждении может возрасти в 3 раза по сравнению с уровнем основного обмена. Появление мышечной дрожи, при которой внешняя работа не совершается, а вся энергия превращается в теплоту, может в течение некоторого времени задерживать снижение температуры внутренних органов. Результатом действия низких температур являются холодовые травмы.

В горячих цехах промышленных предприятий большинство технологических процессов протекает при температурах, значительно превышающих температуру воздуха окружающей среды. Нагретые поверхности излучают в пространство потоки лучистой энергии, которые могут привести к отрицательным последствиям. При температуре до 500° С с нагретой поверхности излучаются тепловые (инфракрасные) лучи с длиной волны 740...0,76 мкм, а при более высокой температуре наряду с возрастанием инфракрасного излучения появляются видимые световые и ультрафиолетовые лучи.

Длина волны лучистого потока с максимальной энергией теплового излучения определяется по закону смещения Вина (для абсолютного черного тела) $\lambda_{E_{max}} = 2{,}9 \cdot 10^3/T$. У большинства производственных источников максимум энергии приходится на инфракрасные лучи ($\lambda_{E_{max}} > 0{,}78$ мкм).

Инфракрасные лучи оказывают на организм человека в основном тепловое действие. Под влиянием теплового облучения в организме происходят биохимические сдвиги, уменьшается кислородная насыщенность крови, понижается венозное давление, замедляется кровоток и, как следствие, наступает нарушение деятельности сердечно-сосудистой и нервной системы.

По характеру воздействия на организм человека инфракрасные лучи подразделяются на коротковолновые с длиной волны 0,76...1,5 мкм и длинноволновые с длиной более 1,5 мкм. Тепловые излучения коротковолнового диапазона глубоко проникают в ткани и разогревают их, вызывая быструю утомляемость, понижение внимания, усиленное потовыделение, а при длительном облучении — тепловой удар. Длинноволновые лучи глубоко в ткани не проникают и поглощаются в основном в эпидермисе кожи. Они могут вызвать ожог кожи и глаз. Наиболее частым и тяжелым поражением глаз вследствие воздействия инфракрасных лучей является катаракта глаза.

Кроме непосредственного воздействия на человека, лучистая теплота нагревает окружающие конструкции. Эти вторичные источники отдают теплоту окружающей среде излучением и конвекцией, в результате чего температура воздуха внутри помещения повышается.

Общее количество теплоты, поглощенное телом, зависит от размера облучаемой поверхности, температуры источника излучения и расстояния до него. Для характеристики теплового излучения принята величина, названная интенсивностью теплового облучения. Интенсивность теплового облучения J_E — это мощность лучистого потока, приходящаяся на единицу облучаемой поверхности.

Облучение организма малыми дозами лучистой теплоты полезно, но значительная интенсивность теплового излучения и высокая температура воздуха могут оказать неблагоприятное действие на человека. Тепловое облучение интенсивностью до 350 Вт/м^2 не вызывает неприятного ощущения, при 1050 Вт/м^2 через несколько секунд возможны ожоги. При облучении интенсивностью 700...1400 Вт/м^2 частота пульса увеличивается на 5..7 ударов в минуту. Время пребывания в зоне теплового облучения лимитируется в первую очередь температурой кожи, болевое ощущение появляется при температуре кожи 40...45°C (в зависимости от участка).

Интенсивность теплового облучения на отдельных рабочих местах может быть значительной. Например, в момент заливки стали в форму она составляет 12 000 Вт/м^2; при выбивке отливок из опок — 350...2000 Вт/м^3, а при выпуске стали из печи в ковш достигает 7000 Вт/м^2.

Атмосферное давление оказывает существенное влияние на процесс дыхания и самочувствие человека. Если без воды и пищи человек может прожить несколько дней, то без кислорода — всего несколько минут. Основным органом дыхания человека, посредством которого осуществляется газообмен с окружающей средой (главным образом O_2 и CO_2), является трахеобронхиальное дерево и большое число легочных пузырей (альвеол), стенки которых пронизаны густой сетью ка-

пиллярных сосудов. Общая поверхность альвеол взрослого человека составляет 90...150 $м^2$. Через стенки альвеол кислород поступает в кровь для питания тканей организма.

Наличие кислорода во вдыхаемом воздухе — необходимое, но недостаточное условие для обеспечения жизнедеятельности организма. Интенсивность диффузии кислорода в кровь определяется парциальным давлением кислорода в альвеолярном воздухе (p_{O_2}, мм рт. ст.) Экспериментально установлено:

$$p_{O_2} = (B-47)\frac{V_{O_2}}{100} - p_{CO_2},$$

где B — атмосферное давление вдыхаемого воздуха, мм рт. ст.; 47 — парциальное давление насыщенных водяных паров в альвеолярном воздухе, мм рт. ст.; V_{O_2} — процентное (объемное) содержание кислорода в альвеолярном воздухе, %; p_{CO_2} — парциальное давление углекислого газа в альвеолярном воздухе; $p_{CO_2} \cong 40$ мм рт. ст.

Наиболее успешно диффузия кислорода в кровь происходит при парциальном давлении кислорода в пределах 95...120 мм рт. ст. Изменение p_{O_2} вне этих пределов приводит к затруднению дыхания и увеличению нагрузки на сердечно-сосудистую систему. Так, на высоте 2...3 км ($p_{O_2} \cong 70$ мм рт. ст) насыщение крови кислородом снижается до такой степени, что вызывает усиление деятельности сердца и легких. Но даже длительное пребывание человека в этой зоне не сказывается существенно на его здоровье, и она называется *зоной достаточной компенсации.* С высоты 4 км ($p_{O_2} \cong$ 60 мм рт. ст.) диффузия кислорода из легких в кровь снижается до такой степени, что, несмотря на большое содержание кислорода ($V_{O_2} \cong 21$ %), может наступить кислородное голодание — *гипоксия.* Основные признаки гипоксии — головная боль, головокружение, замедленная реакция, нарушение нормальной работы органов слуха и зрения, нарушение обмена веществ.

Как показали исследования, удовлетворительное самочувствие человека при дыхании воздухом сохраняется до высоты около 4 км, чистым кислородом ($V_{O_2} \cong 100$ %) до высоты около 12 км. При длительных полетах на летательных аппаратах на высоте более 4 км применяют либо кислородные маски, либо скафандры, либо герметизацию кабин. При нарушении герметизации давление в кабине резко снижается. Часто этот процесс протекает так быстро, что имеет характер своеобразного взрыва и называется *взрывной декомпрессией.* Эффект воздействия взрывной декомпрессии на организм зависит от

начального значения и скорости понижения давления, от сопротивления дыхательных путей человека, общего состояния организма.

В общем случае чем меньше скорость понижения давления, тем легче она переносится. В результате исследований установлено, что уменьшение давления на 385 мм рт. ст. за 0,4 с человек переносит без каких-либо последствий. Однако новое давление, которое возникает в результате декомпрессии, может привести к высотному метеоризму и высотным эмфиземам. *Высотный метеоризм* — это расширение газов, имеющихся в свободных полостях тела. Так, на высоте 12 км объем желудка и кишечного тракта увеличивается в 5 раз. *Высотные эмфиземы,* или высотные боли,— это переход газа из растворенного состояния в газообразное.

В ряде случаев, например при производстве работ под водой, в водонасыщенных грунтах работающие находятся в условиях повышенного атмосферного давления. При выполнении кессонных и глубоководных работ обычно различают три периода: повышения давления — компрессии; нахождения в условиях повышенного давления и период понижения давления — декомпрессия. Каждому из них присущ специфический комплекс функциональных изменений в организме.

Избыточное давление воздуха приводит к повышению парциального давления кислорода в альвеолярном воздухе, к уменьшению объема легких и увеличению силы дыхательной мускулатуры, необходимой для производства вдоха-выдоха. В связи с этим работа на глубине требует поддержания повышенного давления с помощью специального снаряжения или оборудования, в частности кессонов или водолазного снаряжения.

При работе в условиях избыточного давления снижаются показатели вентиляции легких за счет некоторого урежения частоты дыхания и пульса. Длительное пребывание при избыточном давлении (порядка 700 кПа) приводит к токсическому действию некоторых газов, входящих в состав вдыхаемого воздуха. Оно проявляется в нарушении координации движений, возбуждении или угнетении, галлюцинациях, ослаблении памяти, расстройстве зрения и слуха.

Наиболее опасен период декомпрессии, во время которого и вскоре после выхода в условиях нормального атмосферного давления может развиться *декомпрессионная (кессонная) болезнь.* Сущность ее состоит в том, что в период компрессии и пребывания при повышенном атмосферном давлении организм через кровь насыщается азотом. Полное насыщение организма азотом наступает через 4 ч пребывания в условиях повышенного давления.

В процессе декомпрессии вследствие падения парциального давления в альвеолярном воздухе происходит десатурация азота из тканей. Выделение азота осуществляется через кровь и затем легкие. Продолжительность десатурации зависит в основном от степени насыщения тканей азотом (легочные альвеолы диффундируют 250 мл азота в минуту). Если декомпрессия производится форсированно, в крови и других жидких средах образуются пузырьки азота, которые вызывают газовую эмболию и как ее проявление — *декомпрессионную болезнь.* Тяжесть декомпрессионной болезни определяется массовостью закупорки сосудов и их локализацией. Развитию декомпрессионной болезни способствует переохлаждение и перегревание организма. Понижение температуры приводит к сужению сосудов, замедлению кровотока, что замедляет удаление азота из тканей и процесс десатурации. При высокой температуре наблюдается сгущение крови и замедление ее движения.

5.3. ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Основными параметрами, обеспечивающими процесс теплообмена человека с окружающей средой, как было показано выше, являются параметры микроклимата. В естественных условиях на поверхности Земли (уровень моря) эти параметры изменяются в существенных пределах. Так, температура окружающей среды изменяется от — 88 до + 60°C; подвижность воздуха — от 0 до 100 м/с; относительная влажность — от 10 до 100 % и атмосферное давление — от 680 до 810 мм рт. ст.

Вместе с изменением параметров микроклимата меняется и тепловое самочувствие человека. Условия, нарушающие тепловой баланс, вызывают в организме реакции, способствующие его восстановлению. Процессы регулирования тепловыделений для поддержания постоянной температуры тела человека называются *терморегуляцией.* Она позволяет сохранять температуру внутренних органов постоянной, близкой к 36,5°C. Процессы регулирования тепловыделений осуществляются в основном тремя способами: биохимическим путем; путем изменения интенсивности кровообращения и интенсивности потовыделения.

Терморегуляция биохимическим путем заключается в изменении интенсивности происходящих в организме окислительных процессов. Например, мышечная дрожь, возникающая при сильном охлаждении организма, повышает выделение теплоты до 125...200 Дж/с.

Терморегуляция путем изменения интенсивности кровообращения заключается в способности организма регулировать подачу крови (которая является в данном случае теплоносителем) от внутренних органов к поверхности тела путем сужения или расширения кровеносных сосудов. Перенос теплоты с потоком крови имеет большое значение вследствие низких коэффициентов теплопроводности тканей человеческого организма — 0,314...1,45 Вт/(м · °С). При высоких температурах окружающей среды кровеносные сосуды кожи расширяются и к ней от внутренних органов притекает большое количество крови и, следовательно, больше теплоты отдается окружающей среде. При низких температурах происходит обратное явление: сужение кровеносных сосудов кожи, уменьшение притока крови к кожному покрову и, следовательно, меньше теплоты отдается во внешнюю среду. Как видно из рис. 5.2, кровоснабжение при высокой температуре среды может быть в 20...30 раз больше, чем при низкой. В пальцах кровоснабжение может изменяться даже в 600 раз.

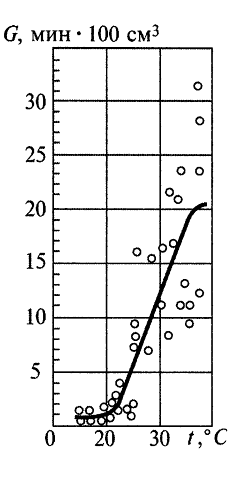


Рис. 5.2. Зависимость кровоснабжения тканей организма от температуры окружающей среды

Терморегуляция путем изменения интенсивности потовыделения заключается в изменении процесса теплоотдачи за счет испарения. Испарительное охлаждение тела человека имеет большое значение. Так, при $t_{ос}$ = 18°С, φ = 60 %, w = 0 количество теплоты, отдаваемой человеком в окружающую среду при испарении влаги, составляет около 18 % общей теплоотдачи. При увеличении температуры окружающей среды до + 27°С доля $Q_п$ возрастает до 30 % и при 36,6°С достигает 100 %.

Терморегуляция организма осуществляется одновременно всеми способами. Так, при понижении температуры воздуха увеличению теплоотдачи за счет увеличения разности температур препятствуют такие процессы, как уменьшение влажности кожи и, следовательно, уменьшение теплоотдачи путем испарения, снижение температуры кожных покровов за счет уменьшения интенсивности транспортирования крови от внутренних органов и вместе с этим уменьшение разности температур.

На рис. 5.3 и 5.4 приведены тепловые балансы человека при различных объемах производимой работы в разных условиях окружающей среды. Тепловой баланс, приведенный на рис. 5.3, составлен по

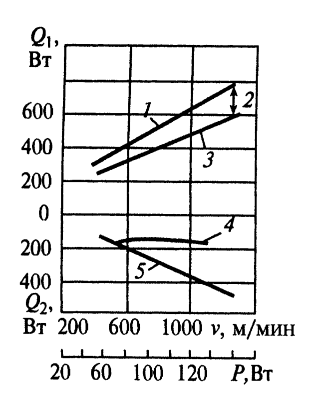


Рис. 5.3. Тепловой баланс работающего человека в зависимости от нагрузки (v — скорость езды на велосипеде, P — нагрузка, Q_1 — тепловыделение, Q_2 — теплоотдача):

1 — изменение общей затраты энергии организма; *2* — механическая работа; *3* — тепловыделения; *4* — изменение суммарной теплоотдачи ($Q_к$, $Q_т$, $Q_л$); *5* — теплота, отданная при испарении пота с поверхности тела

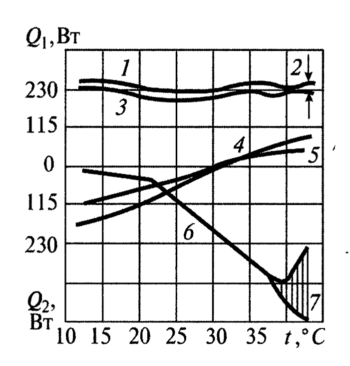


Рис. 5.4. Тепловой баланс работающего человека в зависимости от температуры среды (Q_1 — тепловыделение; Q_2 — теплоотдача):

1 — суммарная энергия организма; *2* — мускульная работа; *3* — выделенная теплота; *4* — теплота, переданная теплопроводностью и конвекцией; *5* — теплота, переданная излучением; *6* — теплота, отданная при испарении пота; *7* — теплота, потерянная с каплями пота

экспериментальным данным для случая езды на велосипеде при температуре воздуха 22,5°С и относительной влажности 45 %; на рис. 5.4 приведен тепловой баланс человека, идущего со скоростью 3,4 км/ч при различных температурах окружающего воздуха и постоянной относительной влажности 52 %. Приведенные на рис. 5.3 и 5.4 примеры процесса теплообмена человека с окружающей средой построены при условии соблюдения теплового баланса $Q_{тп} = Q_{то}$, поддержанию которого способствовал механизм терморегуляции организма.

Экспериментально установлено, что оптимальный обмен веществ в организме и соответственно максимальная производительность труда имеют место, если составляющие процесса теплоотдачи находятся в следующих пределах: $Q_к + Q_т \approx 30$ %; $Q_л \approx 45$ %; $Q_п \approx 20$ % и $Q_д \approx 5$ %. Такой баланс характеризует отсутствие напряженности системы терморегуляции.

Параметры микроклимата воздушной среды, которые обусловливают оптимальный обмен веществ в организме и при которых нет неприятных ощущений и напряженности системы терморегуляции, называют *комфортными* или *оптимальными*. Зону, в которой окружающая среда полностью отводит тепло, выделяемое организмом , и нет напряжения системы терморегуляции, называют *зоной комфорта*. Ус-

ловия, при которых нормальное тепловое состояние человека нарушается, называют *дискомфортными*. При незначительной напряженности системы терморегуляции и небольшой дискомфортности устанавливаются допустимые метеорологические условия.

5.4. ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА

Нормы производственного микроклимата (см. табл. 1.2) установлены системой стандартов безопасности труда ГОСТ 12.1.005—88 и Санитарными правилами и нормами СанПиН 2.2.4.548—96. Они едины для всех производств и всех климатических зон с некоторыми незначительными отступлениями.

В этих документах отдельно нормируется каждый компонент микроклимата в рабочей зоне производственного помещения: температура, относительная влажность, скорость воздуха в зависимости от способности организма человека к акклиматизации в разное время года, характера одежды, интенсивности производимой работы и характера тепловыделений в рабочем помещении.

Для оценки характера одежды (теплоизоляции) и акклиматизации организма в разное время года введено понятие периода года. Различают теплый и холодный периоды года. Теплый период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха + 10°С и выше, холодный — ниже + 10°С.

При учете интенсивности труда все виды работ исходя из общих энергозатрат организма делятся на три категории: легкие, средней тяжести и тяжелые. Характеристику производственных помещений по категории выполняемых в них работ устанавливают по категории работ, выполняемых 50 % и более работающих в соответствующем помещении.

К легким работам (категория I) с затратой энергии до 174 Вт относятся работы, выполняемые сидя или стоя, не требующие систематического физического напряжения (работа контролеров, в процессах точного приборостроения, конторские работы и др.). Легкие работы подразделяют на категорию Iа (затраты энергии до 139 Вт) и категорию Iб (затраты энергии 140...174 Вт).

К работам средней тяжести (категория II) относят работы с затратой энергии 175...232 Вт (категория IIа) и 233...290 Вт (категория IIб). В категорию IIа входят работы, связанные с постоянной ходьбой, выполняемые стоя или сидя, но не требующие перемещения тяжестей, в категорию IIб — работы, связанные с ходьбой и переноской неболь-

ших (до 10 кг) тяжестей (в механосборочных цехах, текстильном производстве, при обработке древесины и др.).

К тяжелым работам (категория III) с затратой энергии более 290 Вт относят работы, связанные с систематическим физическим напряжением, в частности с постоянным передвижением, с переноской значительных (более 10 кг) тяжестей (в механосборочных цехах, текстильном производстве, при обработке древесины и др.).

По интенсивности тепловыделений производственные помещения делят на группы в зависимости от удельных избытков явной теплоты. Явной называют теплоту, воздействующую на изменение температуры воздуха помещения, а избытком явной теплоты — разность между суммарными поступлениями явной теплоты и суммарными теплопотерями помещений. Явная теплота, которая образовалась в пределах помещения, но была удалена из него без передачи теплоты воздуху помещения (например, с газами от дымоходов или с воздухом местных отсосов от оборудования), при расчете избытков теплоты не учитывается. Незначительные избытки явной теплоты — это избытки теплоты, не превышающие или равные 23 Вт на 1 м^3 внутреннего объема помещения. Помещения со значительными избытками явной теплоты характеризуются избытками теплоты более 23 Вт/м^3.

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не должны превышать 35 Вт/м^2 при облучении 50 % поверхности человека и более, 70 Вт/м^2 — при облучении 25...50 % поверхности и 100 Вт/м^2 — при облучении не более 25 % поверхности тела.

Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (нагретого металла, стекла, открытого пламени и др.) не должна превышать 140 Вт/м^2, при этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательно использование средств индивидуальной защиты.

В рабочей зоне производственного помещения согласно ГОСТ 12.1.005—88 могут быть установлены оптимальные и допустимые микроклиматические условия. *Оптимальные микроклиматические условия* — это такое сочетание параметров микроклимата, которое при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивает ощущение теплового комфорта и создает предпосылки для высокой работоспособности. *Допустимые микроклиматические условия* — это такие сочетания параметров микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать напряжение реакций терморегуляции и которые не выходят за пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом

не возникает нарушений в состоянии здоровья, не наблюдаются дискомфортные теплоощущения, ухудшающие самочувствие, и понижение работоспособности. Оптимальные параметры микроклимата в производственных помещениях обеспечиваются системами кондиционирования воздуха, а допустимые параметры — обычными системами вентиляции и отопления.

Контрольные вопросы к главе 5

1. Объясните физическую сущность понятий «жарко», «холодно», «нормально».

2. Почему в горячих цехах возникает необходимость обеспечения подсоленной газированной водой?

3. Каким образом атмосферное давление окружающей среды оказывает влияние на процессы жизнедеятельности организма человека?

4. Каковы цель и механизм терморегуляции организма человека и какими способами она реализуется?

5. Сравните нормативные значения температуры воздуха в помещении в холодный и теплый периоды года при прочих равных условиях (больше, меньше, равны).

6. От каких факторов зависят численные значения нормативных параметров микроклимата?

7. Каким образом относительная влажность воздуха оказывает влияние на тепловое самочувствие человека?

Глава 6
ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПАСНОСТЕЙ НА ЧЕЛОВЕКА И ТЕХНОСФЕРУ

6.1. СИСТЕМЫ ВОСПРИЯТИЯ ЧЕЛОВЕКОМ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Человеку необходимы постоянные сведения о состоянии и изменении внешней среды, переработка этой информации и составление программ жизнеобеспечения. Возможность получать информацию об окружающей среде, способность ориентироваться в пространстве и оценивать свойства окружающей среды обеспечиваются анализаторами (сенсорными системами). Они представляют собой системы ввода информации в мозг для анализа этой информации.

В коре головного мозга — высшем звене центральной нервной системы (ЦНС) — информация, поступающая из внешней среды, анализируется и осуществляется выбор или разработка программы ответной реакции, т. е. формируется информация об изменении орга-

низации жизненных процессов таким образом, чтобы это изменение не привело к повреждению и гибели организма. Например, в ответ на повышение температуры внешней среды, которое может привести к повышению температуры тела и далее к необратимым изменениям в органах (коре головного мозга, органах зрения, почках), возникают реакции компенсаторного характера. Они могут быть поведенческими — внешними (уход в более прохладное место) или внутренними (снижение выработки теплопродукции, повышение теплоотдачи).

Датчиками сенсорных систем являются специфические структурные нервные образования, называемые *рецепторами*. Они представляют собой окончания чувствительных (афферентных) нервных волокон, способные возбуждаться при действии раздражителя. Часть из них воспринимает изменения в окружающей среде (экстероцепторы), а часть — во внутренней среде организма (интероцепторы). Выделяют группу рецепторов, расположенных в скелетных мышцах, сухожилиях и сигнализирующих о тонусе мышц (проприоцепторы).

В зависимости от природы раздражителя рецепторы подразделяют на несколько групп:

— механорецепторы, представляющие собой периферические отделы соматической, скелетно-мышечной и вестибулярной систем; к ним относятся фонорецепторы, вестибулярные, гравитационные, а также тактильные рецепторы кожи и опорно-двигательного аппарата, барорецепторы сердечно-сосудистой системы;

— терморецепторы, воспринимающие температуру как внутри организма, так и в окружающей организме среде; они объединяют рецепторы кожи и внутренних органов, а также центральные термочувствительные нейроны в коре мозга;

— хеморецепторы, реагирующие на воздействие химических веществ; они включают рецепторы вкуса и обоняния, сосудистые и тканевые рецепторы (например, глюкорецепторы, воспринимающие изменение уровня сахара в крови);

— фоторецепторы, воспринимающие световые раздражители;

— болевые рецепторы, которые выделяются в особую группу; они могут возбуждаться механическими, химическими и температурными раздражителями.

Согласно психофизиологической классификации рецепторов, по характеру ощущений различают зрительные, слуховые, обонятельные, осязательные рецепторы, рецепторы боли, рецепторы положения тела в пространстве (проприоцепторы и вестибулорецепторы).

Морфологически рецепторы представляют собой клетку, снабженную подвижными волосками или ресничками (подвижными антеннами), обеспечивающими чувствительность рецепторов. Так, для

возбуждения фоторецепторов достаточно 5...10 квантов света, а для обонятельных рецепторов — одной молекулы вещества.

При длительном воздействии раздражителя происходит адаптация рецептора и его чувствительность снижается: однако, когда действие постоянного раздражителя прекращается, чувствительность рецепции растет снова. Для адаптации рецепторов нет единого общего закона, и в каждой сенсорной системе может быть свое сочетание факторов, определяющих изменение возбудительного процесса в анализаторе. Различают быстро адаптирующиеся (тектильные, барорецепторы) и медленно адаптирующиеся рецепторы (хеморецепторы, фоторецепторы). Вестибулорецепторы и проприоцепторы не адаптируются.

Полученная рецепторами информация, закодированная в нервных импульсах, передается по нервным путям в центральные отделы соответствующих анализаторов и используется для контроля со стороны нервной системы, координирующей работы исполнительных органов. Иногда поступающая информация непосредственно переключается на исполнительные органы. Такой принцип переработки информации заложен в основу многих безусловных рефлексов (врожденных, наследственно передающихся). Например, сокращение мышц конечностей, раздражаемых электрическим током, теплотой или химическими веществами, вызывает реакцию удаления конечности от раздражителя. Вместе с тем каждый безусловный рефлекс также представляет собой сложную многокомпонентную реакцию в ответ на адекватное раздражение.

Путь нервного импульса от воспринимающего нервного образования (рецептора) через ЦНС по афферентным и эфферентным нервным волокнам до окончания в действующем органе (эффекторе) называется рефлекторной дугой (рис. 6.1).

При длительном воздействии раздражителя на основе приобретенного опыта формируются условные рефлексы. Они непостоянны, вырабатываются на базе безусловных. Для образования условного рефлекса необходимо сочетание во времени какого-либо изменения среды, воспринятого корой больших полушарий, подкрепленного безусловным рефлексом.

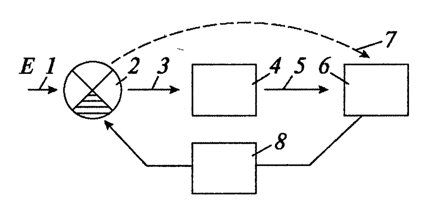


Рис. 6.1. Схема рефлекторной дуги:

1 — *E* энергия раздражителя (сигнал, информация); *2* — рецептор; *3* — афферентные связи (нервные волокна); *4* — ЦНС; *5* — эфферентные связи; *6* — исполнительный орган (эффектор); *7* — путь безусловного рефлекса; *8* — обратная связь

Характер изменений в организме зависит от продолжительности внешних воздействий. Например, кратковременное снижение концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе вызывает лишь учащение дыхания и увеличение скорости кровотока, чем и обеспечивается снабжение тканей кислородом. При компенсации длительно действующего гипоксического фактора (кислородного голодания) участвуют совсем другие механизмы. У человека в горах повышается транспортная функция крови (увеличивается количество эритроцитов и изменяются кислородсвязывающие свойства гемоглобина), усиливается анаэробное дыхание, повышается активность ферментов.

В большинстве случаев изменения в организме в ответ на состояние внешней среды происходят при участии нескольких анализаторов и невозможно провести четкие границы между ними, особенно на уровне центральной нервной системы. Например, в регуляции позы участвуют вестибулярный аппарат, гравирецепторы и проприорецепторы мышц, тактильные рецепторы кожи, рецепторы органа зрения. Поэтому те участки нервной системы, в которых происходит синтез первичной информации, ее окончательный анализ и сравнение полученного результата с ожидаемым (так называемое опознание образов), функционируют как единое целое. В этом случае разделение анализаторных систем невозможно еще и потому, что все они имеют один и тот же исполнительный механизм — опорно-двигательный аппарат.

Человек обладает рядом специализированных периферических образований — органов чувств, обеспечивающих восприятие действующих на организм внешних раздражителей (из окружающей среды). К ним относятся органы зрения, слуха, обоняния, вкуса, осязания. Не следует смешивать понятия «орган чувств» и «рецептор», например глаз — это орган зрения, а сетчатка — фоторецептор, один из компонентов органа зрения. Помимо сетчатки в состав органа зрения входят преломляющие среды глаза, различные его оболочки, мышечный аппарат. Понятие «орган чувств» в значительной мере условно, так как сам по себе он не может обеспечить ощущение. Для возникновения субъективного ощущения необходимо, чтобы возбуждение, возникшее в рецепторах, поступило в центральную нервную систему — специальные отделы коры больших полушарий, так как именно с деятельностью высших отделов головного мозга связано возникновение субъективных ощущений.

Органы зрения играют исключительную роль в жизни человека. Посредством *зрения* человек познает форму, величину, цвет предмета, направление и расстояние, на котором он находится. Зрительный

анализатор — это глаза, зрительные нервы и зрительный центр, расположенный в затылочной доле коры головного мозга.

Глаз представляет собой сложную оптическую систему (рис. 6.2). Глазное яблоко имеет форму шара с тремя оболочками: наружная, толстая оболочка, называется белковой, или склерой, а ее передняя прозрачная часть — роговицей. Внутри от белковой оболочки расположена вторая — сосудистая оболочка. Ее передняя часть, лежащая позади роговицы, называется радужкой, в центре которой имеется отверстие, именуемое зрачком. Радужка играет роль диафрагмы. Сзади радужной оболочки, против зрачка, расположен хрусталик, который можно сравнить с двояковыпуклой оптической линзой. Между роговицей и радужкой, а также между радужкой и хрусталиком расположены соответственно передняя и задняя камеры глаза. В них находится прозрачная, богатая питательная веществами жидкость, снабжающая ими роговицу и хрусталик, которые лишены кровеносных сосудов. За хрусталиком, заполняя всю полость глаза, находится стекловидное тело.

Лучи света, попадая в глаз, проходят через роговицу, хрусталик и стекловидное тело, т. е. через три преломляющие прозрачные среды, и попадают на внутреннюю оболочку глаза — сетчатку, в ней находятся светочувствительные рецепторы — палочки (130 млн) и колбочки (7 млн).

Свет, проникающий в глаз, воздействует на фотохимическое вещество элементов сетчатки и разлагает его. Достигнув определенной концентрации, продукты распада раздражают нервные окончания, заложенные в палочках и колбочках. Возникающие при этом импульсы по волокнам зрительного нерва поступают в нервные клетки зрительного бугра и человек видит цвет, форму и величину предметов.

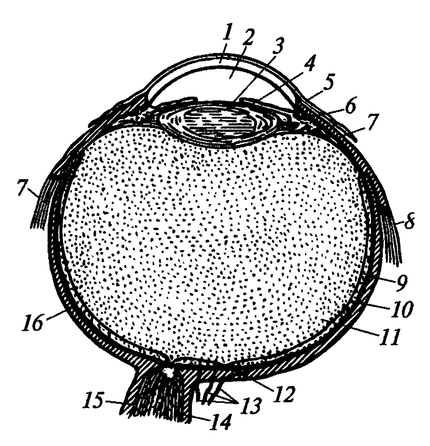


Рис. 6.2. Схема строения глаза человека:

1 — роговица; *2* — передняя камера; *3* — хрусталик; *4* — радужка; *5* — конъюнктива; *6* — ресничное (цилиарное) тело с отростками и волокнами связки, поддерживающей хрусталик; *7* — склера; *8* и *16* — прямые мышцы, обеспечивающие движение глаз; *9* — сосудистая оболочка; *10* — сетчатка; *11* — стекловидное тело; *12* — центральная ямка желтого пятна сетчатки; *13* — артерии; *14* — зрительный нерв; *15* — оболочка зрительного нерва

Функции палочек и колбочек различны: колбочки обеспечивают так называемое дневное зрение, «ночное» же зрение осуществляется с помощью палочек. Разрешающая способность палочек и колбочек различна; колбочки позволяют четко различать мелкие детали. Цветное зрение осуществляется исключительно через колбочковый аппарат, палочки цвета не воспринимают и дают ахроматические изображения.

Чтобы видеть форму предмета, надо четко различать его границы, очертания. Эта способность глаза характеризуется остротой зрения. Острота зрения измеряется минимальным углом (от 0,5 до 10°), при котором две точки на расстоянии 5 м еще воспринимаются отдельно.

Согласованное движение глаз совершается с помощью трех пар мышц, вращающих глазное яблоко, и вследствие этого зрительные оси обоих глаз всегда направлены на одну точку фиксации.

Глаз чувствителен к видимому диапазону спектра электромагнитных колебаний (380...770 нм).

Слух — способность организма воспринимать и различать звуковые колебания. Эта способность воплощается слуховым анализатором. Человеческому уху доступна область звуков, механических колебаний с частотой 16...20 000 Гц.

Орган слуха — ухо — представляет собой воспринимающую часть звукового анализатора (рис. 6.3). Оно имеет три отдела: наружное, среднее и внутреннее ухо. Наружное ухо состоит из ушной раковины и наружного слухового прохода, затянутого упругой барабанной перепонкой, отделяющей среднее ухо. Ушная раковина и слуховой проход служат для улучшения приема звука высоких частот. Они способны усиливать звук с частотой 2000...5000 Гц на 10...20 дБ, и это обстоятельство определяет повышенную опасность звуков указанного диапазона частот.

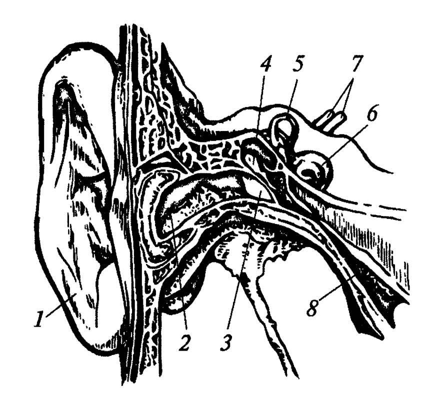


Рис. 6.3. Схематическое изображение органа слуха (в разрезе):

1 — ушная раковина; *2* — наружный слуховой проход; *3* — барабанная перепонка, отделяющая наружный слуховой проход от полости среднего уха; *4* — система косточек среднего уха; молоточек, наковальня, стремечко; *5* — полукружные каналы; *6* — улитка; *7* — лицевой нерв и нерв органа слуха и равновесия; *8* — евстахиева (слуховая) труба

В полости среднего уха расположены так называемые слуховые косточки: молоточек, наковальня и стремячко, связанные как бы в одну цепь. Они служат для передачи звуковых колебаний от барабанной перепонки во внутреннее ухо, где расположен специальный воспринимающий звук орган, называемый кортиевым. В среднем ухе амплитуда колебаний уменьшается, а мышца среднего уха обеспечивает защиту от звуков низкой частоты. Полость среднего уха сообщается с полостью носоглотки с помощью евстахиевой трубы, по которой во время глотания воздух проходит в полость среднего уха.

Внутреннее ухо отличается наиболее сложным устройством. Оно состоит из трех частей: улитки, трех полукружных каналов и мешочков преддверия. Улитка воспринимает звуковые раздражения, а мешочки преддверия и полукружные каналы — раздражения, возникающие от перемены положения тела в пространстве.

Звуковые волны проникают в слуховой проход, приводят в движение барабанную перепонку и через цепь слуховых косточек передаются в полость улитки внутреннего уха. Колебания жидкости в канале улитки передаются волокнам основной перепонки кортиева органа в резонанс тем звукам, которые поступают в ухо. Колебания волокон улитки приводят в движение расположенные в них клетки кортиева органа. Возникающий нервный импульс передается в соответствующий отдел головного мозга, в котором синтезируется соответствующее слуховое представление.

Орган слуха воспринимает далеко не все многочисленные звуки окружающей среды. Частоты, близкие к верхнему и нижнему пределам слышимости, вызывают слуховое ощущение лишь при большой интенсивности и по этой причине обычно не слышны. Очень интенсивные звуки слышимого диапазона могут вызвать боль в ухе и даже повредить слух.

Механизм защиты слухового анализатора от повреждения при воздействии интенсивных звуков предусмотрен анатомическим строением среднего уха, системой слуховых косточек и мышечных волокон, которые являются механическим передаточным звеном, ответственным за появление акустического рефлекса блокировки звука в ответ на интенсивный звуковой раздражитель. Возникновение акустического рефлекса обеспечивает защиту чувствительных структур улитки внутреннего уха от разрушения. Скрытый период возникновения акустического рефлекса равен приблизительно 10 мс.

Таким образом, орган слуха выполняет два задания: снабжает организм информацией и обеспечивает самосохранение, противостоит повреждающему действию акустического сигнала.

Обоняние — способность воспринимать запахи, осуществляется посредством обонятельного анализатора, рецептором которого являются нервные клетки, расположенные в слизистой оболочке верхнего и отчасти среднего носовых ходов. Человек обладает различной чувствительностью к пахучим веществам, к некоторым веществам особенно высокой. Например, этилмеркаптан ощущается при содержании его, равном 0,00019 мг в 1 л воздуха.

Снижение обоняния часто возникает при воспалительных и атрофических процессах в слизистой оболочке носа. В некоторых случаях нарушение обоняния является одним из существенных симптомов поражения ЦНС.

Запахи способны вызывать отвращение к пище, обострять чувствительность нервной системы, способствовать состоянию подавленности, повышенной раздражительности. Так, сероводород, бензин могут вызывать различные отрицательные реакции вплоть до тошноты, рвоты, обморока. Например, обнаружено, что запахи бензола и герантиола обостряют слух, а индол притупляет слуховое восприятие, запахи пиридина и толуола обостряют зрительную функцию в сумерках, запах камфоры повышает чувствительность зрительной рецепции зеленого цвета и снижает — красного.

Вкус — ощущение, возникающее при воздействии раздражителей на специфические рецепторы, расположенные на различных участках языка. Вкусовое ощущение складывается из восприятия кислого, соленого, сладкого и горького; вариации вкуса являются результатом комбинации основных перечисленных ощущений. Разные участки языка имеют неодинаковую чувствительность к вкусовым веществам: кончик языка более чувствителен к сладкому, края языка — к кислому, кончик и края — к соленому и корень языка наиболее чувствителен к горькому (рис. 6.4).

Механизм восприятия вкусовых веществ связывают со специфическими химическими реакциями на границе «вещество — вкусовой рецептор». Вкусовые луковицы (рис. 6.5), в состав которых входят рецепторы, расположены на сосочках языка и в значительно меньших количествах в слизистой неба, глотки, гортани, миндалин. Очень важным условием возникновения вкусового ощущения является растворение вкусового вещества на поверхности языка.

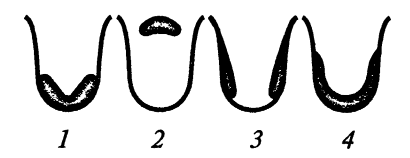


Рис. 6.4. Схема расположения на языке рецепторов, воспринимающих разные вкусовые качества:

1 — сладкий вкус; *2* — горький вкус; *3* — кислый вкус; *4* — соленый вкус

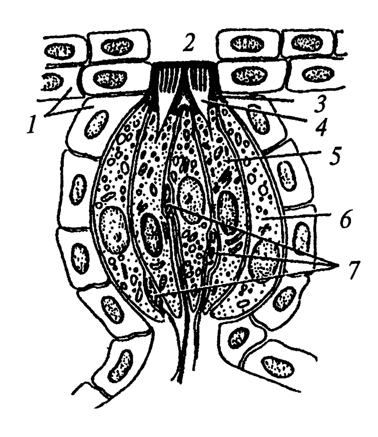


Рис. 6.5. Вкусовая луковица:

1 — многослойный эпителий слизистой оболочки; *2* — вкусовая пора; *3* — вещество, богатое аминокислотами и мукополисахаридами; *4* — «вкусовые кисточки»; *5* — рецепторные клетки; *6* — опорные клетки; *7* — нервные окончания

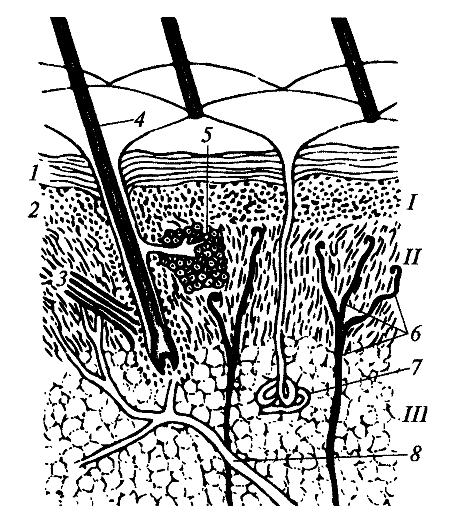


Рис. 6.6. Схематическое изображение микроскопического строения кожи человека (в разрезе):

I — эпидермис; *II* — дерма (собственно кожа); *III* — подкожная жировая клетчатка; *1* — роговой слой эпидермиса; *2* — базальный, щиповатый, зернистый и блестящий слои эпидермиса; *3* — мышца, поднимающая волос; *4* — стержень волоса; *5* — сальная железа; *6* — нервные окончания; *7* — потовая железа с выводным протоком; *8* — кровеносный сосуд

Предполагают, что каждый рецептор содержит высокочувствительные белковые вещества, распадающиеся при воздействии определенных вкусовых веществ. Возбуждение от вкусовых рецепторов передается в ЦНС по специфическим проводящим путям.

Осязание — сложное ощущение, возникающее при раздражении рецепторов кожи, слизистых оболочек и мышечно-суставного аппарата. Основная роль в формировании осязания принадлежит кожному анализатору, который осуществляет восприятие внешних механических, температурных, химических и других раздражителей. Осязание складывается из тактильных, температурных, болевых и двигательных ощущений. Основная роль в ощущении принадлежит тактильной рецепции — прикосновению и давлению.

Кожа — внешний покров тела — представляет собой орган с весьма сложным строением, выполняющий ряд важных жизненных функций. Кроме защиты организма от вредных внешних воздейст-

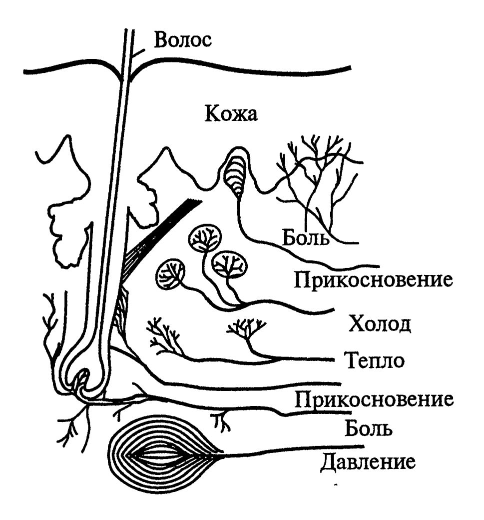


Рис. 6.7. Схема расположение рецепторов в коже человека

вий, кожа выполняет рецепторную, секреторную, обменную функции, играет значительную роль в терморегуляции и т. д.

В коже (рис. 6.6) различают три слоя: наружный (эпителиальный — эпидермис), соединительнотканный (собственно кожа — дерма) и подкожная жировая клетчатка. В коже имеется большое число кровеносных и лимфатических сосудов. Нервный аппарат кожи состоит из многочисленных, пронизывающих дерму нервных волокон и нервных окончаний — рецепторов, которые воспринимают давление, прикосновение, вибрацию, изменение температуры, болевые воздействия (рис. 6.7).

Одна из основных функций кожи — защитная; кожа — орган защиты. Так, растяжение, давление, ушибы обезвреживаются упругой жировой подстилкой и эластичностью кожи. Нормальный роговой слой предохраняет глубокие слои кожи от высыхания и весьма устойчив по отношению к различным химическим веществам. Пигмент меланин, поглощающий ультрафиолетовые лучи, предохраняет кожу от воздействия солнечного света. Особенно большое значение имеют стерилизующие свойства кожи и устойчивость к различным микробам; неповрежденный роговой слой непроницаем для болезнетворных микроорганизмов, а кожное сало и пот создают кислую среду, неблагоприятную для многих микробов. Эта спасительная кислотность — результат деятельности потовых и сальных желез, доставляющих необходимые жирные кислоты. Окисление происходит в роговом веществе, поэтому так важен достаточный приток кислорода

для профилактики кожных заболеваний. Кожа «дышит»; если покрыть человека лаком, он начнет задыхаться.

Важной функцией кожи является ее участие в терморегуляции (поддержании нормальной температуры тела); 80 % всей теплоотдачи организма осуществляется кожей. При высокой температуре внешней среды кожные сосуды расширяются и теплоотдача конвекцией усиливается. При низкой температуре сосуды суживаются, кожа бледнеет, теплоотдача уменьшается.

Секреторная функция обеспечивается сальными и потовыми железами. С кожным салом могут выделяться некоторые лекарственные вещества (йод, бром), продукты промежуточного метаболизма (обмена веществ), микробных токсинов и эндогенных ядов. Функция сальных и потовых желез регулируется вегетативной нервной системой.

Обменная функция кожи заключается в участии в процессах регуляции общего обмена веществ в организме, особенно водного, минерального и углеводного. Считают, что кожу можно условно рассматривать как железу внешней и внутренней секреции, с обширной поверхностью, богато снабженной сосудами и тесно связанной со всеми внутренними органами. Кожа — это «периферический мозг», неутомимый сторож, который всегда начеку, постоянно извещает центральный мозг о каждой агрессии и опасности.

С помощью анализаторов человек получает обширную информацию об окружающем мире. Количество информации принято измерять в двоичных знаках — битах. Например, поток информации через зрительный рецептор человека составляет 10^8—10^9 бит/с, нервные пути пропускают $2 \cdot 10^6$ бит/с, в памяти прочно задерживается только 1 бит/с. Следовательно, в коре головного мозга анализируется и оценивается не вся поступающая информация, а наиболее важная. Информация, получаемая из внешней и внутренней среды, определяет работу функциональных систем организма и поведение человека.

Для управления поведением человека и активностью его функциональных систем (т. е. выходной информацией, поступающей из коры больших полушарий) достаточно около 10^7 бит/с при подключении программ, содержащихся в памяти. В табл. 6.1 приведены максимальные скорости передачи информации, принимаемой человеком с помощью различных органов чувств и подводимой к коре больших полушарий.

Помимо сенсорных в организме функционируют другие системы, которые или морфологически (структурно) отчетливо оформлены (кровообращения, пищеварения), или являются функциональными (терморегуляции, иммунологической защиты). В таких системах существует автономная регуляция и их можно рассматривать как само-

стоятельные, саморегулирующие замкнутые цепи, имеющие собственную обратную связь.

Таблица 6.1. **Характеристика органов чувств по скорости передачи информации**

Воспринимаемый сигнал	Характеристика	Максимальная скорость, бит/с
Зрительный	Длина линии	3,25
	Цвет	3,1
	Яркость	3,3
Слуховой	Громкость	2,3
	Высота тона	2,5
Вкусовой	Соленость	1,3
Обонятельный	Интенсивность	1,53
Тактильный	Интенсивность	2,0
	Продолжительность	2,3
	Расположение на теле	2,8

Между всеми системами организма существуют взаимосвязи, и организм человека в функциональном отношении представляет собой единое целое. Одна из важнейших функциональных систем организма — нервная система, она связывает между собой различные системы и части организма.

Нервная система имеет обширное взаимодействие центральных и периферических образований, включая различные анатомические структуры, комбинации гуморальных веществ (ферментов, белков, витаминов, микроэлементов и др.), объединенных взаимозависимостью и участием в приспособительных реакциях организма. Нервная система человека подразделяется на *центральную нервную систему* (ЦНС), включающую головной и спинной мозг, и *периферическую* (ПНС), которую составляют нервные волокна и узлы, лежащие вне ЦНС.

По морфологическим признакам ЦНС представляет собой совокупность нервных клеток (нейронов), специализирующихся на переработке информации, и отходящих от них отростков. В этой совокупности клеточных тел, находящихся в черепной коробке и позвоночном канале, происходит переработка информации, которая поступает по нервным волокнам и исходит от них к исполнительным органам.

Периферическая нервная система осуществляет связь ЦНС с кожей, мышцами и внутренними органами. ЦНС условно подразделяют на соматическую и вегетативную. Периферические нервные во-

локна, связывающие ЦНС с кожей и слизистыми оболочками, мышцами, сухожилиями и связками, относятся к *соматической нервной системе* (СНС). Нервные волокна, связывающие ЦНС с внутренними органами, кровеносными сосудами, железами, принадлежат к *вегетативной нервной системе* (ВНС). В отличие от соматической вегетативная система обладает определенной самостоятельностью и потому ее называют автономной.

На основе структурно-функциональных свойств вегетативную нервную систему подразделяют на симпатическую и парасиматическую, которые оказывают антагонистическое действие на органы. Например, симпатическая нервная система расширяет зрачок, вызывает учащение пульса и повышение кровяного давления; парасимпатическая система сужает зрачок, замедляет сердечно-сосудистую деятельность, снижает кровяное давление.

Нервная система функционирует по принципу рефлекса. *Рефлексом* называют любую ответную реакцию организма на раздражение из окружающей или внутренней среды, осуществляющуюся с участием ЦНС.

В случаях экстремального воздействия на организм нервная система формирует защитно-приспособительные реакции, определяет соотношение воздействующего и защитного эффектов.

Человек постоянно приспосабливается к изменяющимся условиям окружающей среды благодаря гомеостазу — универсальному свойству сохранять и поддерживать стабильность работы различных систем организма в ответ на воздействия, нарушающие эту стабильность.

Гомеостаз — относительное динамическое постоянство состава и свойств внутренней среды и устойчивость основных физиологических функций организма.

Любые физиологические, физические, химические или эмоциональные воздействия, будь то температура воздуха, изменение атмосферного давления или волнение, радость, печаль могут быть поводом к выходу организма из состояния динамического равновесия. Автоматически, на основе единства гуморальных и нервных механизмов регуляции осуществляется саморегуляция физиологических функций, обеспечивающая поддержание жизнедеятельности организма на постоянном уровне. При малых уровнях воздействия раздражителя человек просто воспринимает информацию, поступающую извне. Он видит окружающий мир, слышит его звуки, вдыхает аромат различных запахов, осязает и использует в своих целях воздействие многих факторов. При высоких уровнях воздействия проявляются нежелательные биологические эффекты. Компенсация изменений факторов

среды обитания оказывается возможной благодаря активации систем, ответственных за адаптацию (приспособление).

Защитные приспособительные реакции имеют три стадии: нормальная физиологическая реакция (гомеостаз); нормальные адаптационные изменения; патофизиологические адаптационные изменения с вовлечением в процесс анатомо-морфологических структур (структурные изменения на клеточно-тканевом уровне).

Гомеостаз и адаптация — два конечных результата, организующих функциональные системы.

Вмешательство внешних механизмов в состояние гомеостаза приводит к адаптивной перестройке, в результате которой одна или несколько функциональных систем организма компенсируют дискоординацию для восстановления равновесия. Вначале происходит мобилизация функциональной системы, адекватной к данному раздражителю, затем на фоне некоторого снижения резервных возможностей организма включается система специфической адаптации и обеспечивается необходимое повышение функциональной активности организма. В безвыходных ситуациях, когда раздражитель чрезмерно силен, эффективная адаптация не формируется и сохраняется нарушение гомеостаза; стимулируемый этими нарушениями стресс достигает чрезвычайной интенсивности и длительности; в такой ситуации возможно развитие заболеваний.

В процессе трудовой деятельности человек расплачивается за адаптацию к производственным факторам. Расплата за эффективный труд или оптимальный результат трудовой деятельности носит название «цена адаптации», причем нередко расплата формируется в виде перенапряжения или длительного снижения функциональной активности механизмов нервной регуляции как наиболее легко ранимых и ответственных за постоянство внутренней среды.

В организме человека функционирует ряд систем обеспечения безопасности. К ним относятся глаза, уши, нос, костно-мышечная система, кожа, система иммунной защиты. Например, глаза имеют веки — две кожно-мышечные складки, закрывающие глазное яблоко при смыкании. Веки несут функцию защиты глазного яблока, предохраняя орган зрения от чрезмерного светового потока и механического повреждения, способствуют увлажнению его поверхности и удалению со слезой инородных тел. Уши при чрезмерно громких звуках обеспечивают защитную реакцию: две самые маленькие мышцы среднего уха резко сокращаются и три самых маленьких косточки (молоточек, наковальня и стремячко) перестают колебаться, наступает блокировка и система косточек не пропускает во внутреннее ухо чрезмерно сильных звуковых колебаний.

Чихание относится к группе защитных реакций и представляет собой форсированный выдох через нос (при кашле — форсированный выдох через рот). Благодаря высокой скорости воздушная струя уносит из полости носа попавшие туда инородные тела и раздражающие агенты.

Слезотечение возникает при попадании раздражающих веществ на слизистую оболочку верхних дыхательных путей: носа, носоглотки, трахеи и бронхов. Слеза выделяется не только наружу, но и попадает через слезоносный канал в полость носа, смывая тем самым раздражающее вещество (поэтому «хлюпают» носом при плаче).

Боль возникает при нарушении нормального течения физиологических процессов в организме вследствие воздействия вредных факторов. Субъективно человек воспринимает боль как тягостное, гнетущее ощущение. Объективно боль сопровождается некоторыми вегетативными реакциями (расширением зрачков, повышением кровяного давления, бледностью кожных покровов лица и др.). Характер болевых ощущений зависит от особенностей конкретного органа и силы разрушительного воздействия. Например, боль при повреждении кожи отличается от головной боли, при травме нервных стволов возникает жгучее болевое ощущение — каузалгия. Болевое ощущение как защитная реакция нередко указывает на локализацию процесса. В зависимости от локализации различают два типа симптоматических болевых ощущений; висцеральные и соматические. Висцеральные боли появляются при заболевании или травме внутренних органов (сердца, желудка, печени, почек и др.); для них характерно сильное болевое ощущение и широкая иррадиация, возможна «отраженная боль», которая ощущается далеко от проекции пораженного органа, иногда в другой части тела. Соматические боли возникают при патологических процессах в коже, костях, мышцах, они локализованы и наиболее отчетливо выполняют функцию естественной защиты информационным способом.

Еще один пример естественной системы защиты — движение. Активное движение нередко приглушает душевную и физическую боль. Это механизм бдительно стоит на страже нервного благополучия, готовый в случае надобности предохранить мозг от слишком большого горя и слишком большой радости.

В организме человека функционирует система иммунной защиты. *Иммунитет* — это свойство организма, обеспечивающее его устойчивость к действию чужеродных белков, болезнетворных (патогенных) микробов и их ядовитых продуктов.

Различают естественный и приобретенный иммунитет. Естественный, или врожденный, иммунитет — это видовой признак, пере-

дающийся по наследству (например, люди не заражаются чумой рогатого скота). Если микробы все-таки проникли в организм, их распространение задерживается благодаря развивающейся реакции воспаления. Печень, селезенка, лимфатические узлы также способны задерживать и частично обезвреживать продукты деятельности микробов.

Значительная роль в иммунитете принадлежит специфическим защитным факторам сыворотки крови — антителам, которые накапливаются в сыворотке после перенесенного заболевания, а также после искусственной иммунизации (прививок).

В процессе активной иммунизации изменяется чувствительность организма к повторному введению соответствующего антигена, т. е. изменяется иммунореактивность организма в форме повышения или понижения чувствительности отдельных органов и тканей к микробам, ядам или другим антигенам. Изменение иммунореактивности не всегда полезно для организма: при повышении чувствительности к какому-нибудь антигенту могут развиваться аллергические заболевания. Иммунологическая реактивность существенно зависит от возраста: у новорожденных она резко снижена, у пожилых развита слабее, чем у лиц среднего возраста.

6.2. ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПАСНОСТЕЙ И ИХ НОРМИРОВАНИЕ

Оценка негативных факторов. При оценке воздействия негативных факторов на человека следует учитывать степень влияния их на здоровье и жизнь человека, уровень и характер изменений функционального состояния и возможностей организма, его потенциальных резервов, адаптивных способностей и возможности развития последних.

При оценке допустимости воздействия вредных факторов на организм человека исходят из биологического закона субъективной количественной оценки раздражителя Вебера—Фехнера. Он выражает связь между изменением интенсивности раздражителя и силой вызванного ощущения: реакция организма прямо пропорциональна относительному приращению раздражителя

$$\mathrm{d}L = a\frac{\mathrm{d}R}{R},$$

где $\mathrm{d}L$ — элементарное ощущение организма; a — коэффициент пропорциональности; $\mathrm{d}R$ — элементарное приращение раздражителя.

Интегрируя данное выражение и принимая $a = 10$ lg, получают уровень ощущения раздражителя (дБ)

$$L = 10\lg\frac{R}{R_0},$$

где R_0 — пороговое значение ощущений, т. е. минимальная энергия раздражителя, характеризующая начало ощущения.

На базе закона Вебера — Фехнера построено нормирование вредных факторов. Чтобы исключить необратимые биологические эффекты, воздействие факторов ограничивается предельно допустимыми уровнями или предельно допустимыми концентрациями.

Предельно допустимый уровень или предельно допустимая концентрация — это максимальное значение фактора, которое, воздействуя на человека (изолированно или в сочетании с другими факторами), не вызывает у него и у его потомства биологических изменений даже скрытых и временно компенсируемых, в том числе заболеваний, изменений реактивности, адаптационно-компенсаторных возможностей, иммунологических реакций, нарушений физиологических циклов, а также психологических нарушений (снижения интеллектуальных и эмоциональных способностей, умственной работоспособности). ПДК и ПДУ устанавливают для производственной и окружающей среды. При их принятии руководствуются следующими принципами:

— приоритет медицинских и биологических показаний к установлению санитарных регламентов перед прочими подходами (технической достижимостью, экономическими требованиями);

— пороговость действия неблагоприятных факторов (в том числе химических соединений с мутагенным или канцерогенным эффектом действия, ионизирующего излучения);

— опережение разработки и внедрения профилактических мероприятий появления опасного и вредного фактора.

Ниже рассмотрено воздействие на организм человека и гигиеническое нормирование негативных факторов техносферы.

6.2.1. Вредные вещества

В настоящее время известно около 7 млн химических веществ и соединений (далее вещество), из которых 60 тыс. находят применение в деятельности человека. На международном рынке ежегодно появляется 500...1000 новых химических соединений и смесей.

Вредным называется вещество, которое при контакте с организмом человека может вызывать травмы, заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе контакта с ним, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Химические вещества (органические, неорганические, элементорганические) в зависимости от их практического использования классифицируются на:

— промышленные яды, используемые в производстве: например, органические растворители (дихлорэтан), топливо (пропан, бутан), красители (анилин);

— ядохимикаты, используемые в сельском хозяйстве: пестициды (гексахлоран), инсектициды (карбофос) и др.;

— лекарственные средства;

— бытовые химикаты, используемые в виде пищевых добавок (уксусная кислота), средства санитарии, личной гигиены, косметики и т. д.;

— биологические растительные и животные яды, которые содержатся в растениях и грибах (аконит, цикута), у животных и насекомых (змей, пчел, скорпионов);

— отравляющие вещества (ОВ): зарин, иприт, фосген и др.

Ядовитые свойства могут проявить все вещества, даже такие, как поваренная соль в больших дозах или кислород при повышенном давлении. Однако к ядам принято относить лишь те, которые свое вредное действие проявляют в обычных условиях и в относительно небольших количествах.

К промышленным ядам относится большая группа химических веществ и соединений, которые в виде сырья, промежуточных или готовых продуктов встречаются в производстве.

В организм промышленные химические вещества могут проникать через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и неповрежденную кожу. Однако основным путем поступления являются легкие. Помимо острых и хронических профессиональных интоксикаций промышленные яды могут быть причиной понижения устойчивости организма и повышенной общей заболеваемости.

Бытовые отравления чаще всего возникают при попадании яда в желудочно-кишечный тракт (ядохимикатов, бытовых химикатов, лекарственных веществ). Возможны острые отравления и заболевания при попадании яда непосредственно в кровь, например при укусах змеями, насекомыми, при инъекциях лекарственных веществ.

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями токсикометрии, в соответствии с которыми вещества класси-

фицируют на чрезвычайно токсичные, высокотоксичные, умеренно токсичные и малотоксичные. Эффект токсического действия различных веществ зависит от количества попавшего в организм вещества, его физических свойств, длительности поступления, химизма взаимодействия с биологическими средами (кровью, ферментами). Кроме того, эффект зависит от пола, возраста, индивидуальной чувствительности, путей поступления и выведения, распределения в организме, а также метеорологических условий и других сопутствующих факторов окружающей среды.

Общая токсикологическая классификация вредных веществ приведена в табл. 6.2.

Таблица 6.2. **Токсикологическая классификация вредных веществ**

Общее токсическое воздействие	Токсичные вещества
Нервно-паралитическое действие (бронхоспазм, удушье, судороги и параличи)	Фосфорорганические инсектициды (хлорофос, карбофос, никотин, ОВ и др.)
Кожно-резорбтивное действие (местные воспалительные и некротические изменения в сочетании с общетоксическими резорбтивными явлениями)	Дихлорэтан, гексахлоран, уксусная эссенция, мышьяк и его соединения, ртуть (сулема)
Общетоксическое действие (гипоксические судороги, кома, отек мозга, параличи)	Синильная кислота и ее производные, угарный газ, алкоголь и его суррогаты, ОВ
Удушающее действие (токсический отек легких)	Оксиды азота, ОВ
Слезоточивое и раздражающее действие (раздражение наружных слизистых оболочек)	Пары крепких кислот и щелочей, хлорпикрин, ОВ
Психотическое действие (нарушение психической активности, сознания)	Наркотики, атропин

Яды наряду с общей обладают избирательной токсичностью, т. е. они представляют наибольшую опасность для определенного органа или системы организма. По избирательной токсичности выделяют яды:

— сердечные с преимущественным кардиотоксическим действием; к этой группе относят многие лекарственные препараты, растительные яды, соли металлов (бария, калия, кобальта, кадмия);

— нервные, вызывающие нарушение преимущественно психической активности (угарный газ, фосфорорганические соединения, алкоголь и его суррогаты, наркотики, снотворные лекарственные препараты и др.);

— печеночные, среди которых особо следует выделить хлорированные углеводороды, ядовитые грибы, фенолы и альдегиды;

— почечные — соединения тяжелых металлов этиленгликоль, щавелевая кислота;

— кровяные — анилин и его производные, нитриты, мышьяковистый водород;

— легочные — оксиды азота, озон, фосген и др.

Показатели токсиметрии и критерии токсичности вредных веществ — это количественные показатели токсичности и опасности вредных веществ. Токсический эффект при действии различных доз и концентраций ядов может проявиться функциональными и структурными (патоморфологическими) изменениями или гибелью организма. В первом случае токсичность принято выражать в виде действующих, пороговых и недействующих доз и концентраций, во втором — в виде смертельных концентраций.

Смертельные, или летальные, дозы DL при введении в желудок или в организм другими путями или смертельные концентрации CL могут вызывать единичные случаи гибели (минимальные смертельные) или гибель всех организмов (абсолютно смертельные). В качестве показателей токсичности пользуются *среднесмертельными дозами и концентрациями:* DL_{50}, CL_{50} — это показатели абсолютной токсичности. Среднесмертельная концентрация вещества в воздухе CL_{50} — это концентрация вещества, вызывающая гибель 50 % подопытных животных при 2...4-часовом ингаляционном воздействии (мг/м^3); среднесмертельная доза при введении в желудок (мг/кг) обозначается как $DL^{ж}_{50}$, среднесмертельная доза при нанесении на кожу — $DL^{к}_{50}$.

Степень токсичности вещества определяется отношением $1/DL_{50}$ и $1/CL_{50}$; чем меньше значения токсичности DL_{50} и CL_{50}, тем выше степень токсичности.

Об опасности ядов можно судить также по значениям порогов вредного действия (однократного, хронического) и порога специфического действия.

Порог вредного действия (однократного или хронического) — это минимальная (пороговая) концентрация (доза) вещества, при воздействии которой в организме возникают изменения биологических показателей на организменном уровне, выходящие за пределы приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология. Порог однократного действия обозначается Lim_{ac}, порог хронического Lim_{ch}, порог специфического Lim_{sp}.

Опасность вещества — это вероятность возникновения неблагоприятных для здоровья эффектов в реальных условиях производства или применения химических соединений.

Возможность острого отравления может оцениваться коэффициентом опасности внезапного острого ингаляционного отравления (КОВОИО):

$$КОВОИО = C_{20}/(CL_{50}\lambda),$$

где C_{20} — насыщенная концентрация при температуре 20°С; λ — коэффициент распределения газа между кровью и воздухом.

При утечке газа или летучего вещества возможность острого отравления тем выше, чем выше насыщающая концентрация при температуре 20°С. Если КОВОИО меньше 1 — опасность острого отравления мала, если КОВОИО выражается единицами, десятками и более, существует реальная опасность острого отравления при аварийной утечке промышленного яда, например для паров этанола КОВОИО меньше 0,001, хлороформа около 7, формальгликоля около 600.

Если невозможно определить значение λ, то вычисляют коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО):

$$КВИО = C_{20}/CL_{50}.$$

О реальной опасности развития острого отравления можно судить также по значению зоны острого действия. Зона острого (однократного) токсического действия Z_{ac} — это отношение среднесмертельной концентрации (дозы) вещества CL_{50} к пороговой концентрации (дозе) при однократном воздействии Lim_{ac} : $Z_{ac} = CL_{50}/Lim_{ac}$. Чем меньше зона, тем больше возможность острого отравления, и наоборот. Показателем реальной опасности развития хронической интоксикации является значение зоны хронического действия Z_{ch}, т. е. отношение пороговой концентрации (дозы) при однократном воздействии Lim_{ac} к пороговой концентрации (дозе) при хроническом воздействии Lim_{ch}. Чем больше зона хронического действия, тем выше опасность $Z_{ch} = Lim_{ac}/Lim_{ch}$. На рис. 6.8 показана зависимость интенсивности вредного воздействия вещества от параметров токсикометрии. Показатели токсикометрии определяют класс опасности веще-

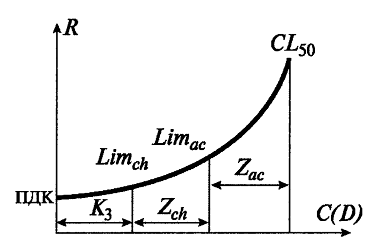


Рис. 6.8. Зависимость интенсивности вредного воздействия вещества от параметров токсикометрии:

R — интенсивность вредного воздействия (хроническое, острое летальное отравление), $C(D)$ — параметры токсикометрии (концентрация, дозы); $K_з = \frac{Lim_{ch}}{ПДК}$ — коэффициент запаса; $Z_{ch} = Lim_{ac}/Lim_{ch}$ — зона хронического действия; $Z_{ac} = CL_{50}/Lim_{ac}$ — зона острого действия; $K_з$, Z_{ch} и Z_{ac} показаны на рис. условно

ства, определяющим является тот показатель, который свидетельствует о наибольшей степени опасности. Например, озон, будучи веществом остронаправленного действия, относится к 1-му классу опасности, его ПДК = 0,1 мг/м^3; оксид углерода относится также к веществам остронаправленного действия, однако по показателям острой и хронической токсичности для него установлена ПДК = = 20 мг/м^3, 4-й класс опасности. В табл. 6.3 приведена классификация производственных вредных веществ по степени опасности.

Таблица 6.3. **Классификация производственных вредных веществ по степени опасности (ГОСТ 12.1.007—76)**

Показатель	Класс опасности			
	1-й	2-й	3-й	4-й
ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м^3	Менее 0,1	0,1 — 1,0	1,1 — 10,0	Более 10
Средняя смертельная доза при введении в желудок $DL^{ж}_{50}$, мг/кг	Менее 15	15 — 150	151 — 5000	Более 5000
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу $DL^{к}_{50}$, мг/кг	Менее 100	100 — 500	501 — 2500	Более 2500
Средняя смертельная концентрация CL_{50} в воздухе, мг/м^3	Менее 500	500 — 5000	5001 — 50 000	Более 50 000
Зона острого действия Z_{ac}	Менее 6	6 — 18	18,1 — 54	Более 54
Зона хронического действия Z_{ch}	Более 10	10 — 5	4,9 — 2,5	Менее 2,5
КВИО	Более 300	300 — 30	29 — 3	Менее 3,0

Отравления протекают в острой, подострой и хронической формах. *Острые отравления* чаще бывают групповыми и происходят в результате аварий, поломок оборудования и грубых нарушений требований безопасности труда; они характеризуются кратковременностью действия токсичных веществ, не более чем в течение одной смены; поступлением в организм вредного вещества в относительно больших количествах — при высоких концентрациях в воздухе; ошибочном приеме внутрь; сильном загрязнении кожных покровов. Например, чрезвычайно быстрое отравление может наступить при воздействии паров бензина, сероводорода высоких концентраций и закончиться гибелью от паралича дыхательного центра, если пострадавшего сразу же не вынести на свежий воздух. Оксиды азота вследствие общетоксического действия в тяжелых случаях могут вызвать развитие комы, судороги, резкое падение артериального давления.

Хронические отравления возникают постепенно, при длительном поступлении яда в организм в относительно небольших количествах.

Отравления развиваются вследствие накопления массы вредного вещества в организме (материальной кумуляции) или вызываемых ими нарушений в организме (функциональная кумуляция). Хронические отравления органов дыхания могут быть следствием перенесенной однократной или нескольких повторных острых интоксикаций. К ядам, вызывающим хронические отравления в результате только функциональной кумуляции, относятся хлорированные углеводороды, бензол, бензины и др.

При повторном воздействии одного и того же яда в субтоксической дозе может измениться течение отравления и кроме явления кумуляции развиться сенсибилизация и привыкание.

Сенсибилизация — состояние организма, при котором повторное воздействие вещества вызывает больший эффект, чем предыдущее. Эффект сенсибилизации связан с образованием в крови и других внутренних средах измененных и ставших чужеродными для организма белковых молекул, индуцирующих формирование антител. Повторное, даже более слабое токсическое воздействие с последующей реакцией яда с антителами вызывает извращенный ответ организма в виде явлений сенсибилизации. Более того, в случае предварительной сенсибилизации возможно развитие аллергических реакций, выраженность которых зависит не столько от дозы воздействующего вещества, сколько от состояния организма. Аллергизация значительно осложняет течение острых и хронических интоксикаций, нередко приводя к ограничению трудоспособности. К веществам, вызывающим сенсибилизацию, относятся бериллий и его соединения, карбонилы никеля, железа, кобальта, соединения ванадия и т. д.

При повторяющемся воздействии вредных веществ на организм можно наблюдать и ослабление эффектов вследствие привыкания. Для развития *привыкания* к хроническому воздействию яда необходимо, чтобы его концентрация (доза) была достаточной для формирования ответной приспособительной реакции и нечрезмерной, приводящей к быстрому и серьезному повреждению организма. При оценке развития привыкания к токсическому воздействию надо учитывать возможное развитие повышенной устойчивости к одним веществам после воздействия других. Это явление называют *толерантностью*.

Существуют адаптогены (витамины, женьшень, элеутерококк), способные уменьшить реакцию вредных веществ и увеличить устойчивость организма к многим факторам окружающей среды, в том числе химическим. Однако следует иметь в виду, что привыкание является лишь фазой приспособительного процесса, и уловить грань между физиологической нормой и напряжением регуляторных меха-

низмов не всегда удается. Перенапряжение же систем регуляции приводит к срыву адаптации и развитию патологических процессов.

На производстве, как правило, в течение рабочего дня концентрации вредных веществ не бывают постоянными. Они либо нарастают к концу смены, снижаясь за обеденный перерыв, либо резко колеблются, оказывая на человека интермиттирующее (непостоянное) действие, которое во многих случаях оказывается более вредным, чем непрерывное, так как частые и резкие колебания раздражителя ведут к срыву формирования адаптации. Неблагоприятное действие интермиттирующего режима отмечено при вдыхании оксида углерода СО.

Биологическое действие вредных веществ осуществляется через рецепторный аппарат клеток и внутриклеточных структур. Во многих случаях рецепторами токсичности являются ферменты (например, ацетилхолинэстераза), аминокислоты (цистеин, гистидин и др.), витамины, некоторые активные функциональные группы (сульфгидрильные, гидроксильные, карбоксильные, амино- и фосфорсодержащие), а также различные медиаторы и гормоны, регулирующие обмен веществ. Первичное специфическое действие вредных веществ на организм обусловлено образованием комплекса «вещество — рецептор». Токсическое действие яда проявляется тогда, когда минимальное число его молекул способно связывать и выводить из строя наиболее жизненно важные клетки-мишени. Например, токсины ботулинуса способны накапливаться в окончаниях периферических двигательных нервов и при содержании восьми молекул на каждую нервную клетку вызывать их паралич. Таким образом, 1 мг ботулинуса может уничтожить 1200 т живого вещества, а 200 г этого токсина способны погубить все население Земли.

Классификация веществ по характеру воздействия на организм и общие требования безопасности регламентируются ГОСТ 12.0.003—74*. Согласно ГОСТ, вещества подразделяются на токсические, вызывающие отравление всего организма или поражающие отдельные системы (ЦНС, кроветворения), вызывающие патологические изменения печени, почек; раздражающие — вызывающие раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, глаз, легких, кожных покровов; сенсибилизирующие, действующие как аллергены (формальдегид, растворители, лаки на основе нитро- и нитрозосоединений и др.); мутагенные, приводящие к нарушению генетического кода, изменению наследственной информации (свинец, марганец, радиоактивные изотопы и др.); канцерогенные, вызывающие, как правило, злокачественные новообразования (циклические амины, ароматические углеводороды, хром, никель, асбест и др.); влияющие на репро-

дуктивную (детородную) функцию (ртуть, свинец, стирол, радиоактивные изотопы и др.).

Три последних вида воздействия вредных веществ — мутагенное, канцерогенное, влияние на репродуктивную функцию, а также ускорение процесса старения сердечно-сосудистой системы относят к отдаленным последствиям влияния химических соединений на организм. Это специфическое действие, которое проявляется в отдаленные периоды, спустя годы и даже десятилетия. Отмечается появление различных эффектов и в последующих поколениях. Эта классификация не учитывает агрегатного состояния веществ, тогда как для большой группы аэрозолей, не обладающих выраженной токсичностью, следует выделить фиброгенный эффект действия ее на организм. К ним относятся аэрозоли дезинтеграции угля, угольнопородные аэрозоли, аэрозоли кокса (каменноугольного, пескового, нефтяного, сланцевого), саж, алмазов, углеродных волокнистых материалов, аэрозоли (пыли) животного и растительного происхождения, силикатсодержащие пыли, силикаты, алюмосиликаты, аэрозоли дезинтеграции и конденсации металлов, кремнийсодержащие пыли.

Попадая в органы дыхания, вещества этой группы вызывают атрофию или гипертрофию слизистой верхних дыхательных путей, а задерживаясь в легких, приводят к развитию соединительной ткани в воздухообменной зоне и рубцеванию (фиброзу) легких. Профессиональные заболевания, связанные с воздействием аэрозолей, пневмокониозы и пневмосклерозы, хронический пылевой бронхит занимают второе место по частоте среди профессиональных заболеваний в России.

В зависимости от природы пыли пневмокониозы могут быть различных видов: например, силикоз — наиболее частая и характерная форма пневмокониоза, развивающаяся при действии свободного диоксида кремния; силикатоз может развиваться при попадании в легкие аэрозолей солей кремниевой кислоты; асбестоз — одна из агрессивных форм силикатоза, сопровождающаяся фиброзом легких и нарушениями функций нервной и сердечно-сосудистой систем.

Наличие фиброгенного эффекта не исключает общетоксического воздействия аэрозолей. К ядовитым пылям относят аэрозоли ДДТ, триоксид хрома, свинца, бериллия, мышьяка и др. При попадании их в органы дыхания помимо местных изменений в верхних дыхательных путях развивается острое или хроническое отравление.

Большинство случаев профессиональных заболеваний и отравлений связано с поступлением токсических газов, паров и аэрозолей в организм человека главным образом через органы дыхания. Этот путь наиболее опасен, поскольку вредные вещества поступают через раз-

ветвленную систему легочных альвеол (100—120 $м^2$) непосредственно в кровь и разносятся по всему организму. Развитие общетоксического действия аэрозолей в значительной степени связано с размером частиц пыли, так как пыль с частицами до 5 мкм (так называемая респирабельная фракция) проникает в глубокие дыхательные пути, в альвеолы, частично или полностью растворяется в лимфе и, поступая в кровь, вызывает картину интоксикации. Мелкодисперсную пыль трудно улавливать; она медленно оседает, витая в воздухе рабочей зоны.

Попадание ядов в желудочно-кишечный тракт возможно при несоблюдении правил личной гигиены: приеме пищи на рабочем месте и курении без предварительного мытья рук. Ядовитые вещества могут всасываться уже из полости рта, поступая сразу в кровь. К таким веществам относятся все жирорастворимые соединения, фенолы, цианиды. Кислая среда желудка и слабощелочная среда кишечника могут способствовать усилению токсичности некоторых соединений (например, сульфат свинца переходит в более растворимый хлорид свинца, который легко всасывается). Попадание яда (ртути, меди, церия, урана) в желудок может быть причиной поражения его слизистой.

Вредные вещества могут попадать в организм человека через неповрежденные кожные покровы, причем не только из жидкой среды при контакте с руками, но и в случае высоких концентраций токсических паров и газов в воздухе на рабочих местах. Растворяясь в секрете потовых желез и кожном жире, вещества могут легко поступать в кровь. К ним относятся легко растворимые в воде и жирах углеводороды, ароматические амины, бензол, анилин и др. Повреждение кожи безусловно способствует проникновению вредных веществ в организм.

Распределение ядовитых веществ в организме подчиняется определенным закономерностям. Первоначально происходит динамическое распределение вещества в соответствии с интенсивностью кровообращения. Затем основную роль начинает играть сорбционная способность тканей. Существуют три главных бассейна, связанных с распределением вредных веществ: внеклеточная жидкость (14 л для человека массой 70 кг), внутриклеточная жидкость (28 л) и жировая ткань. Поэтому распределение веществ зависит от таких физико-химических свойств, как водорастворимость, жирорастворимость и способность к диссоциации. Для ряда металлов (серебра, марганца, хрома, ванадия, кадмия и др.) характерно быстрое выведение из крови и накопление в печени и почках. Легко диссоциируемые соедине-

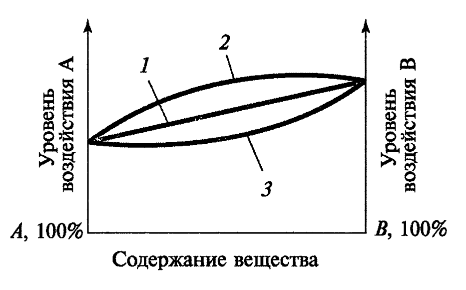


Рис. 6.9. Виды комбинированного действия смеси двух вредных веществ А и В: *1* — аддитивное действие; *2* — синергизм (потенцирование); *3* — антагонизм

ния бария, бериллия, свинца образуют прочные соединения с кальцием и фосфором и накапливаются в костной ткани.

Очень важно отметить комбинированное действие вредных веществ на здоровье человека. На производстве и в окружающей среде редко встречается изолированное действие вредных веществ; обычно работающий на производстве подвергается сочетанному действию неблагоприятных факторов разной природы (физических, химических) или комбинированному влиянию факторов одной природы, чаще ряду химических веществ. Комбинированное действие — это одновременное или последовательное действие на организм нескольких ядов при одном и том же пути поступления. Различают несколько типов комбинированного действия ядов в зависимости от эффектов токсичности: аддитивного, потенцированного, антагонистического и независимого действия (рис. 6.9).

Аддитивное действие — это суммарный эффект смеси, равный сумме эффектов действующих компонентов. Аддитивность характерна для веществ однонаправленного действия, когда компоненты смеси оказывают влияние на одни и те же системы организма, причем при количественно одинаковой замене компонентов друг другом токсичность смеси не меняется. Для гигиенической оценки воздушной среды при условии аддитивного действия ядов используют уравнение в виде

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \ldots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1,$$

где C_1, C_2, ..., C_n — концентрации каждого вещества в воздухе, мг/м^3; ПДК_1, ПДК_2, ..., ПДК_n — предельно допустимые концентрации этих веществ, мг/м^3.

Примером аддитивности является наркотическое действие смеси углеводородов (бензола и изопропилбензола).

При потенцированном действии (синергизме) компоненты смеси действуют так, что одно вещество усиливает действие другого. Эффект комбинированного действия при синергизме выше, больше аддитивного, и это учитывается при анализе гигиенической ситуации в конкретных производственных условиях. Потенцирование отмечается при совместном действии диоксида серы и хлора; алкоголь повышает опасность отравления анилином, ртутью и некоторыми другими промышленными ядами. Явление потенцирования возможно только в случае острого отравления.

Антагонистическое действие — эффект комбинированного действия менее ожидаемого. Компоненты смеси действуют так, что одно вещество ослабляет действие другого, эффект — менее аддитивного. Примером может служить антидотное (обезвреживающее) взаимодействие между эзерином и атропином.

При потенцировании и антагонизме оценку можно проводить с учетом коэффициента комбинированного действия $К_{кд}$ по формуле

$$\frac{C_1 K_{кд_1}}{ПДК_1} + \frac{C_2 K_{кд_2}}{ПДК_2} + \ldots + \frac{C_n K_{кд_n}}{ПДК_n} \leq 1,$$

где $K_{кд_n} > 1$ — при потенцировании и $K_{кд_n} < 1$ — при антагонзме.

При независимом действии комбинированный эффект не отличается от изолированного действия каждого яда в отдельности. Преобладает эффект наиболее токсичного вещества. Комбинации веществ с независимым действием встречаются достаточно часто, например бензол и раздражающие газы, смесь продуктов сгорания и пыли.

Наряду с комбинированным влиянием ядов возможно их комплексное действие, когда яды поступают в организм одновременно, но разными путями (через органы дыхания и желудочно-кишечный тракт, органы дыхания и кожу и т. д.).

Пути обезвреживания ядов различны. Первый и главный из них — изменение химической структуры ядов. Так, органические соединения в организме подвергаются чаще всего гидроксилированию, ацетилированию, окислению, восстановлению, расщеплению, метилированию, что в конечном итоге приводит большей частью к возникновению менее ядовитых и менее активных в организме веществ.

Не менее важный путь обезвреживания — выведение яда через органы дыхания, пищеварения, почки, потовые и сальные железы, кожу. Тяжелые металлы, как правило, выделяются через желудочно-кишечный тракт, органические соединения алифатического и ароматического рядов — в неизменном виде через легкие и частично

после физико-химических превращений через почки и желудочно-кишечный тракт. Определенную роль в относительном обезвреживании ядов играет депонирование (задержка в тех или иных органах). Депонирование является временным путем уменьшения содержания яда, циркулируемого в крови. Например, тяжелые металлы (свинец, кадмий) часто откладываются в депо: костях, печени, почках, некоторые вещества — в нервной ткани. Однако яды из депо могут вновь поступать в кровь, вызывая обострение хронического отравления.

Для ограничения неблагоприятного воздействия вредных веществ применяют гигиеническое нормирование их содержания в различных средах. В связи с тем, что требование полного отсутствия промышленных ядов в зоне дыхания работающих часто невыполнимо, особую значимость приобретает *гигиеническая регламентация содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны* (ГОСТ 12.1.005—88 и ГН 2.2.5.1313—03). Такая регламентация в настоящее время проводится в три этапа: 1) обоснование ориентировочного безопасного уровня воздействия (ОБУВ); (ГН 2.2.5.1314—03); 2) обоснование ПДК; 3) корректирование ПДК с учетом условий труда работающих и состояния их здоровья. Установлению ПДК может предшествовать обоснование ОБУВ в воздухе рабочей зоны, атмосфере населенных мест, в воде, почве.

Ориентировочный безопасный уровень воздействия устанавливают временно, на период, предшествующий проектированию производства. Значение ОБУВ определяется путем расчета по физико-химическим свойствам или путем интерполяций и экстраполяций в гомологических рядах (близких по строению) соединений или по показателям острой токсичности. ОБУВ должны пересматриваться через два года после их утверждения.

Предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны — это концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в продолжение 8 ч или при другой длительности, но не превышающей 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего или последующего поколений.

Исходной величиной для установления ПДК является порог хронического действия Lim_{ch}, в который вводится коэффициент запаса K_3 ПДК = Lim_{ch}/K_3 (см. рис. 6.8).

ПДК устанавливают на уровне в 2—3 раза более низком, чем Lim_{ch}. При обосновании коэффициента запаса учитывают КВИО, выра-

женные кумулятивные свойства, возможность кожно-резорбтивного действия, чем они значительнее, тем больше избираемый коэффициент запаса. При выявлении специфического действия — мутагенного, канцерогенного, сенсибилизирующего — принимаются наибольшие значения коэффициента запаса (10 и более).

До недавнего времени ПДК химических веществ оценивали как максимальные $ПДК_{мр}$. Превышение их даже в течение короткого времени запрещалось. В последнее время для веществ, обладающих кумулятивными свойствами (меди, ртути, свинца и др.), для гигиенического контроля введена вторая величина — среднесменная концентрация $ПДК_{сс}$. Это средняя концентрация, полученная путем непрерывного или прерывистого отбора проб воздуха при суммарном времени не менее 75 % продолжительности рабочей смены, или средневзвешенная концентрация в течение смены в зоне дыхания работающих на местах постоянного или временного их пребывания.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать установленных ГОСТ 12.1.005—88 и ГН 2.2.5.1313—03 ПДК. В качестве примера в табл. 1.4 приведены ПДК некоторых веществ.

Для веществ, обладающих кожно-резорбтивным действием, обосновывается предельно допустимый уровень загрязнения кожи ($мг/см^2$) в соответствии с ГН 2.2.5.563—96 (табл. 6.4).

Таблица 6.4. **Предельно допустимые уровни загрязнения кожи рук работающих с вредными веществами по ГН 2.2.5.563—96 (извлечение)**

Наименование вещества	ПДУ, $мг/см^2$	Наименование вещества	ПДУ, $мг/см^2$
Бензол	0,05	Метилтестостерон	0,0003
Жирные спирты фракции С5 — С10 (амиловый, гексиловый, гептиловый, октиловый, нониловый, дециловый)	0,02	Нитрил акриловой кислоты	0,001
		Нитробензол	2,4
Ксилидин	0,08	Металлическая сурьма	0,001 (по сурьме)
Ксилол	1,75	Толуол	0,05
Метиловый спирт (метанол)	0,02	Хорбензол	0,8

Содержание веществ в атмосферном воздухе населенных мест также регламентируется ПДК, при этом нормируется среднесуточная концентрация вещества. Кроме того, для атмосферы населенных мест устанавливают максимальную разовую величину.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе населенных мест — максимальные концентрации, отнесенные к определенному периоду осреднения (30 мин, 24 ч, 1 мес, 1 год) и не оказывающие при регламентированной вероятности их появления ни прямого, ни косвенного вредного воздействия на организм человека, включая отдаленные последствия для настоящего и последующих поколений, не снижающие работоспособности человека и не ухудшающие его самочувствия.

Максимальная (разовая) концентрация $ПДК_{мр}$ — наиболее высокая из числа 30-минутных концентраций, зарегистрированных в данной точке за определенный период наблюдения.

В основу установления максимальной разовой ПДК положен принцип предотвращения рефлекторных реакций у человека.

Среднесуточная концентрация $ПДК_{сс}$ — средняя из числа концентраций, выявленных в течение суток или отбираемая непрерывно в течение 24 ч.

В основу определения среднесуточной концентрации положен принцип предотвращения резорбтивного (общетоксического) действия на организм.

Если порог токсического действия для какого-то вещества оказывается менее чувствительным, то решающим в обосновании ПДК является порог рефлекторного воздействия как наиболее чувствительный. В подобных случаях $ПДК_{мр} > ПДК_{сс}$, например для бензина и акролеина. Если же порог рефлекторного действия менее чувствителен, чем порог токсического действия, то принимают $ПДК_{мр} = ПДК_{сс}$. Существует группа веществ, у которых отсутствует порог рефлекторного действия (мышьяк, марганец и др.) или он выражен недостаточно четко [оксид ванадия (V)]. Для таких веществ $ПДК_{мр}$ не нормируется, а устанавливается лишь $ПДК_{сс}$. Эти концентрации определены ГН 2.1.6.1338—03 (см. табл. 1.5). А ориентированные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест установлены ГН2.1.6.1339—03.

Нормирование качества воды рек, озер и водохранилищ проводят в соответствии с «Санитарными правилами и нормами охраны поверхностных вод от загрязнения» № 4630—88 МЗ СССР двух категорий: I — водоемы хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения и II — рыбохозяйственного назначения.

Правила устанавливают нормируемые значения для следующих параметров воды водоемов: содержание плавающих примесей и взвешенных веществ, запах, привкус, окраска и температура воды, значение pH, состав и концентрации минеральных примесей и растворенного в воде кислорода, биологическая потребность воды в кислороде,

состав и $ПДК_в$ ядовитых и вредных веществ и болезнетворных бактерий.

Лимитирующий показатель вредности (ЛПВ) для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения используют трех видов: санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический; для водоемов рыбохозяйственного назначения наряду с указанными используют еще два вида ЛПВ: токсикологический и рыбохозяйственный.

В табл. 6.5 представлены $ПДК_в$ некоторых веществ для водоемов.

Санитарное состояние водоема отвечает требованиям норм при выполнении следующего соотношения:

$$\sum_{i=1}^{5(3)} C_m^i / ПДК_i \leq 1,$$

где C_m^i — концентрация вещества i-го ЛПВ в расчетном створе водоема; $ПДК_i$ — предельно допустимая концентрация i-го вещества.

Для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения проверяют выполнение трех, а для водоемов рыбохозяйственного назначения — пяти неравенств. При этом каждое вещество можно учитывать только в одном неравенстве.

Таблица 6.5. **$ПДК_в$ некоторых веществ для водоемов (извлечение)**

Вещество	Водоемы I категории		Водоемы II категории	
	ЛПВ	$ПДК_в$, г/м^3 (мг/л)	ЛПВ	$ПДК_в$, г/м^3 (мг/л)
Бензол	Санитарно-токсикологический	0,5	Токсикологический	0,5
Фенолы	Органолептический	0,001	Рыбохозяйственный	0,001
Бензин, керосин	«	0,1	«	0,01
Cu^{2+} (медь)	Общесанитарный	1,0	Токсикологический	0,01

Гигиенические и технические требования к источникам водоснабжения и правила их выбора в интересах здоровья населения регламентируются ГОСТ 2761—84*. Гигиенические требования к качеству питьевой воды централизованных систем питьевого водоснабжения указаны в Санитарных правилах и нормах СанПиН 2.1.4.1074—01 и СанПиН 2.1.4.1175—02, а также ГН 2.1.5.689—98.

Радиационная безопасность питьевой воды определяется ее соответствием СП 2.6.1.758—99 (НРБ—99) по показателям общей α- и β-активности.

Нормирование химического загрязнения почв осуществляется по предельно допустимым концентрациям ($ПДК_п$). Это концентрация химического вещества (мг) в пахотном слое почвы (кг), которая не должна вызывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы. По своей величине $ПДК_п$ значительно отличается от принятых допустимых концентраций для воды и воздуха. Это отличие объясняется тем, что поступление вредных веществ в организм непосредственно из почвы происходит в исключительных случаях в незначительных количествах, в основном через контактирующие с почвой среды (воздух, воду, растения).

Регламентирование загрязнения осуществляется в соответствии с нормативными документами. Различают четыре разновидности $ПДК_п$ (ГН 6229—91) (табл. 6.6) в зависимости от пути миграции химических веществ в сопредельные среды: ТВ — транслокационный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений; МА — миграционный воздушный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в атмосферу; МВ — миграционный водный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в подземные грунтовые воды и водные источники; ОС — общесанитарный показатель, характеризующий влияние химического вещества на самоочищающую способность почвы и микробиоценоз. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест проводится по методическим указаниям МУ2.1.7.1287—03.

Таблица 6.6. **$ПДК_п$ для почвы**

Вещество	$ПДК_п$, мг/кг	Вещество	$ПДК_п$, мг/кг
Марганец	1500 по ОС	Бромфос	0,4 по ТВ
Мышьяк	2 по ОС	Перхлордивинил	0,5 по ТВ
Ртуть	2,1 по ОС	Изопропилбензол	0,5 по МА
Свинец	20 по ОС	Фосфора оксид P_2O_5	200 по ТВ
Хром	0,05 по МВ	α-Метилстирол	0,5 по МА
Бенз(а)пирен	0,02 по ОС	Формальдегид	7 по ОС

Для оценки содержания вредных веществ в почве проводят отбор проб на участке площадью 25 $м^2$ в 3...5 точках по диагонали с глубины 0,25 м, а при выяснении влияния загрязнений на грунтовые воды — с глубины 0,75...2 м в количестве 0,2...1 кг. В случае применения новых химических соединений, для которых отсутствуют $ПДК_п$, рассчитывают временные допустимые концентрации:

$$ВДК_{п} = 1{,}23 + 0{,}48\ ПДК_{пр},$$

где $ПДК_{пр}$ — предельно допустимая концентрация для продуктов питания (овощных и плодовых культур), мг/кг.

К профессиональным заболеваниям, вызываемым воздействием вредных веществ, относятся острые и хронические интоксикации, протекающие с изолированным или сочетанным поражением органов и систем: токсическое поражение органов дыхания (ринофаринголарингит, эрозия, перфорация носовой перегородки, трахеит, бронхит, пневмосклероз и др.), токсическая анемия, токсический гепатит, токсическая нефропатия, токсическое поражение нервной системы (полиневропатия, неврозоподобные состояния, энцефалопатия), токсическое поражение глаз (катаракта), конъюнктивит, кератоконъюнктивит, токсическое поражение костей: остеопороз, остеосклероз. В эту же группу входят болезни кожи, металлическая, фторопластовая (тефлоновая) лихорадка, аллергические заболевания, новообразования.

Следует иметь в виду возможность развития профессиональных опухолевых заболеваний, особенно органов дыхания, печени, желудка и мочевого пузыря, лейкозы при длительных контактах с продуктами перегонки каменного угля, нефти, сланцев, с соединениями никеля, хрома, мышьяка, винилхлоридом, радиоактивными веществами и т. д.

Профессиональные заболевания, вызываемые воздействием промышленных аэрозолей: пневмокониозы (силикоз, силикатозы, металлокониозы, карбокониозы, пневмокониозы от смешанной пыли, пневмокониозы от пыли пластмасс), биссиноз, хронический бронхит.

Происходит постоянный рост частоты профессиональных заболеваний аллергической природы: конъюнктивиты и риниты, бронхиальная астма и астматический бронхит, токсикодермия и экзема, токсикоаллергический гепатит при воздействии химических веществ — аллергенов. Среди них существенное место занимают лекарственные препараты, например витамины и сульфаниламиды, вещества биологической природы (гормональные и ферментные препараты и т. д.).

Факторы среды обитания, распространенные в условиях населенных мест, могут приводить к росту общих заболеваний, развитие и течение которых провоцируется неблагоприятным влиянием окружающей среды. К ним относятся респираторно-аллергические заболевания органов дыхания, болезни сердечно-сосудистой системы, печени, почек, селезенки, нарушение детородной функции женщин, увеличение числа детей, родившихся с пороками, снижение половой функции мужчин, рост онкологических заболеваний.

6.2.2. Вибрации и акустические колебания

Вибрации. Малые механические колебания, возникающие в упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменного физического поля, называются вибрацией. Воздействие вибрации на человека классифицируют: по способу передачи колебаний; по направлению действия вибрации; по временной характеристике вибрации.

В зависимости от способа передачи колебаний человеку вибрацию подразделяют на общую, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека, и локальную, передающуюся через руки человека. Вибрация, воздействующая на ноги сидящего человека, на предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями рабочих столов, также относится к локальной.

По направлению действия вибрацию подразделяют на вертикальную, распространяющуюся по оси x, перпендикулярной к опорной поверхности; горизонтальную, распространяющуюся по оси y от спины к груди; горизонтальную, распространяющуюся по оси z от правого плеча к левому.

По временной характеристике различают: постоянную вибрацию, для которой контролируемый параметр за время наблюдения изменяется не более чем в 2 раза (6 дБ); непостоянную вибрацию, изменяющуюся по контролируемым параметрам более чем в 2 раза.

Вибрация относится к факторам, обладающим высокой биологической активностью. Выраженность ответных реакций обусловливается главным образом силой энергетического воздействия и биомеханическими свойствами человеческого тела как сложной колебательной системы. Мощность колебательного процесса в зоне контакта и время этого контакта являются главными параметрами, определяющими развитие вибрационных патологий, структура которых зависит от частоты и амплитуды колебаний, продолжительности воздействия, места приложения и направления оси вибрационного воздействия, демпфирующих свойств тканей, явлений резонанса и других условий.

Между ответными реакциями организма и уровнем воздействующей вибрации нет линейной зависимости. Причину этого явления видят в резонансном эффекте. При повышении частот колебаний более 0,7 Гц возможны резонансные колебания в органах человека. Резонанс человеческого тела, отдельных его органов наступает под действием внешних сил при совпадении собственных частот колебаний внутренних органов с частотами внешних сил. Область резонанса для головы в положении сидя при вертикальных вибрациях располагается в зоне между 20...30 Гц, при горизонтальных — 1,5...2 Гц.

Особое значение резонанс приобретает по отношению к органу зрения. Расстройство зрительных восприятий проявляется в частотном диапазоне между 60 и 90 Гц, что соответствует резонансу глазных яблок. Для органов, расположенных в грудной клетке и брюшной полости, резонансными являются частоты 3...3,5 Гц. Для всего тела в положении сидя резонанс наступает на частотах 4...6 Гц.

Вибрационная патология стоит на втором месте (после пылевых) среди профессиональных заболеваний. Рассматривая нарушения состояния здоровья при вибрационном воздействии, следует отметить, что частота заболеваний определяется величиной дозы, а особенности клинических проявлений формируются под влиянием спектра вибраций. Выделяют три вида вибрационной патологии от воздействия общей, локальной и толчкообразной вибраций.

При действии на организм общей вибрации страдает в первую очередь нервная система и анализаторы: вестибулярный, зрительный, тактильный. Вибрация является специфическим раздражителем для вестибулярного анализатора, причем линейные ускорения — для отолитового аппарата, расположенного в мешочках преддверия, а угловые ускорения — для полукружных каналов внутреннего уха.

У рабочих вибрационных профессий отмечены головокружения, расстройство координации движений, симптомы укачивания, вестибуло-вегетативная неустойчивость. Нарушение зрительной функции проявляется сужением и выпадением отдельных участков полей зрения, снижением остроты зрения, иногда до 40 %, субъективно — потемнением в глазах. Под влиянием общих вибраций отмечается снижение болевой, тактильной и вибрационной чувствительности. Особенно опасна толчкообразная вибрация, вызывающая микротравмы различных тканей с последующими реактивными изменениями. Общая низкочастотная вибрация оказывает влияние на обменные процессы, проявляющиеся изменением углеводного, белкового, ферментного, витаминного и холестеринового обменов, биохимических показателей крови.

Вибрационная болезнь от воздействия общей вибрации и толчков регистрируется у водителей транспорта и операторов транспортно-технологических машин и агрегатов, на заводах железобетонных изделий. Для водителей машин, трактористов, бульдозеристов, машинистов экскаваторов, подвергающихся воздействию низкочастотной и толчкообразной вибраций, характерны изменения в пояснично-крестцовом отделе позвоночника. Рабочие часто жалуются на боли в пояснице, конечностях, в области желудка, на отсутствие аппетита, бессонницу, раздражительность, быструю утомляемость. В

целом картина воздействия общей низко- и среднечастотной вибрации выражается общими вегетативными расстройствами с периферическими нарушениями, преимущественно в конечностях, снижением сосудистого тонуса и чувствительности.

Бич современного производства, особенно машиностроения,— локальная вибрация. Локальной вибрации подвергаются главным образом люди, работающие с ручным механизированным инструментом. Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов кисти, предплечий, нарушая снабжение конечностей кровью. Одновременно колебания действуют на нервные окончания, мышечные и костные ткани, вызывают снижение кожной чувствительности, отложение солей в суставах пальцев, деформируя и уменьшая подвижность суставов.

Колебания низких частот вызывают резкое снижение тонуса капилляров, а высоких частот — спазм сосудов.

Сроки развития периферических расстройств зависят не столько от уровня, сколько от дозы (эквивалентного уровня) вибрации в течение рабочей смены. Преимущественное значение имеет время непрерывного контакта с вибрацией и суммарное время воздействия вибрации за смену. У формовщиков, бурильщиков, заточников, рихтовщиков при среднечастотном спектре вибраций заболевание развивается через 8...10 лет работы. Обслуживание инструмента ударного действия (клепка, обрубка), генерирующим вибрацию среднечастотного диапазона (30...125 Гц), приводит к развитию сосудистых, нервно-мышечных, костно-суставных и других нарушений через 12...15 лет. При локальном воздействии низкочастотной вибрации, особенно при значительном физическом напряжении, рабочие жалуются на ноющие, ломящие, тянущие боли в верхних конечностях, часто по ночам. Одним из постоянных симптомов локального и общего воздействия является расстройство чувствительности. Наиболее резко страдает вибрационная, болевая и температурная чувствительность.

К факторам производственной среды, усугубляющим вредное воздействие вибраций на организм, относятся чрезмерные мышечные нагрузки, неблагоприятные микроклиматические условия, особенно пониженная температура, шум высокой интенсивности, психоэмоциональный стресс. Охлаждение и смачивание рук значительно повышает риск развития вибрационной болезни за счет усиления сосудистых реакций. При совместном действии шума и вибрации наблюдается взаимное усиление эффекта в результате его суммации, а возможно, и потенцирования.

Усугубляющее влияние сопутствующих факторов учитывается при расчете показателей вероятности вибрационной болезни. В табл. 6.7 приведены значения расчетных коэффициентов *K* повышения

риска вибрационной болезни в зависимости от уровня сопутствующего шума, температуры окружающей среды и категории тяжести работ. Изменение коэффициентов *К* для шума и температуры находится в линейной зависимости от значения изменяемого фактора, и поэтому промежуточные значения подсчитывают по экспериментальным формулам:

$$K_ш = (L_ш - 80)0{,}025 + 1,$$

$$K_{т0} = (20 - T_0)0{,}08 + 1,$$

где $K_ш$ — коэффициент влияния шума; $K_{т0}$ — коэффициент влияния температуры.

Таблица 6.7. **Коэффициенты повышения риска вибрационной болезни в зависимости от уровня сопутствующего шума, температуры окружающей среды и категории тяжести работ**

Уровень звука, дБА.	80	90	100	110	120	
$K_ш$	1	1,25	1,5	1,75	2	
Изменение уровня звука на 1 дБА соответствует $K_ш = 0{,}025$						
Температура воздуха рабочей зоны, °С	+ 20	+ 10	0	–10	–20	–30
$K_{т0}$.	1	1,8	2,6	3,4	4,2	5
Изменение температуры воздуха на 1°С соответствует $K_{т0} = 0{,}8$						
Категория тяжести труда	1		II		III	IV
$K_{тяж}$	1		1,2		1,5	2

Пример. Работа с перфоратором ПТ-29 ($L_{экв}$ = 128 дБ) производится при температуре 4°С и сопровождается шумом уровнем $L_{экв}$ = 116 дБ. Необходимо определить срок и вероятность риска вибрационной болезни в этих условиях. Известно, что на пятом году работы без усугбляющих факторов вероятность вибрационной болезни составляет 1,4 %. Коэффициенты влияния сопутствующих факторов (шума и охлаждения) соответственно равны: $K_ш = (116 - 80)0{,}025 + 1 = 1{,}9$, $K_{т0} = (20 - 4)0{,}08 + 1 = 2{,}28$. Категория тяжести труда — III, $K_{тяж} = 1{,}5$.

Отсюда вероятность вибрационной болезни составляет $1{,}4 \cdot 1{,}9 \cdot 2{,}8 \cdot 1{,}5 = 9{,}1$ % при стаже 5 лет. Сопутствующие факторы увеличили риск вибрационной болезни в 6,5 раз (9,1 : 1,4).

Длительное систематическое воздействие вибрации приводит к развитию вибрационной болезни (ВБ), которая включена в список профессиональных заболеваний. Эта болезнь диагностируется, как правило, у работающих на производстве; в условиях населенных мест ВБ не регистрируется, несмотря на наличие многих источников вибрации (наземный и подземный транспорт, промышленные источники и др.). Лица, подвергающиеся воздействию вибрации окружаю-

щей среды, чаще болеют сердечно-сосудистыми и нервными заболеваниями и обычно предъявляют много жалоб общесоматического характера.

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием, ГОСТ 12.1.012—90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.566—96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». Документы устанавливают: классификацию вибраций, методы гигиенической оценки, нормируемые параметры и их допустимые значения, режимы труда лиц виброопасных профессий, подвергающихся воздействию локальной вибрации, требования к обеспечению вибробезопасности и к вибрационным характеристикам машин.

При гигиенической оценке вибраций нормируемыми параметрами являются средние квадратичные значения виброскорости v (и их логарифмические уровни L_v) или виброускорения для локальных вибраций в октавных полосах частот, а для общей вибрации — в октавных или третьоктавных полосах. Допускается интегральная оценка вибрации во всем частотном диапазоне нормируемого параметра, в том числе по дозе вибрации D с учетом времени воздействия. Допустимые значения L_v представлены в табл. 6.8.

Для общей и локальной вибрации зависимость допустимого значения виброскорости v_t, м/с, от времени фактического воздействия вибрации, не превышающего 480 мин, определяется по формуле

$$v_t = v_{480}\sqrt{\frac{480}{T}},$$

где v_{480} — допустимое значение виброскорости для длительности воздействия 480 мин, м/с.

Максимальное значение v_t для локальной вибрации не должно превышать значений, определяемых для $T = 30$ мин, а для общей вибрации при $T = 10$ мин.

При регулярных перерывах воздействия локальной вибрации в течение рабочей смены допустимые значения уровня виброскорости следует увеличивать на значения, приведенные ниже:

Суммарное время перерыва при воздействии вибрации в течение 1 ч работы, мин	До 20	Св. 20 до 30	Св. 30 до 40	Св. 40
Увеличение уровня виброскорости ΔL_v, дБ	0	6	9	12

Т а б л и ц а 6.8. **Гигиенические нормы вибраций по СН2.2.4/2.1.8.566—96 (извлечение)**

Вид вибрации	Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Общая транспортная:											
вертикальная	132	123	114	108	107	107	107	—	—	—	—
горизонтальная	122	117	116	116	116	116	116	—	—	—	—
Транспортно-технологическая	—	117	108	102	101	101	101	—	—	—	—
Технологическая:											
на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий	—	108	99	93	92	92	92	—	—	—	—
в производственных помещениях, где нет машин, генерирующих вибрацию	—	100	91	85	84	84	84	—	—	—	—
в служебных помещениях, здравпунктах, конструкторских бюро, лабораториях	—	91	82	76	75	75	75	—	—	—	—
Локальная вибрация	—	—	—	115	109	109	109	109	109	109	109

Допустимые уровни вибрации в жилых домах, условия и правила их измерения и оценки регламентируются Санитарными нормами. Основными нормируемыми параметрами вибрации являются средние квадратичные величины уровней виброскорости и виброускорения в октавных полосах частот.

Акустические колебания. Физическое понятие об акустических колебаниях охватывает как слышимые, так и неслышимые колебания упругих сред. Акустические колебания в диапазоне 16 Гц...209 кГц, воспринимаемые человеком с нормальным слухом, называют звуковыми, с частотой менее 16 Гц — инфразвуковыми, выше 20 кГц — ультразвуковыми. Распространяясь в пространстве, звуковые колебания создают акустическое поле.

Ухо человека может воспринимать и анализировать звуки в широком диапазоне частот и интенсивностей. Область слышимых звуков ограничена двумя пороговыми кривыми: нижняя — порог слышимости, верхняя — порог болевого ощущения. Самые низкие значения порогов лежат в диапазоне 1...5 кГц. Порог слуха молодого человека составляет 0 дБ на частоте 1000 Гц, на частоте 100 Гц порог слухового восприятия значительно выше, так как ухо менее чувствительно к звукам низких частот. Болевым порогом принято считать звук с уровнем 140 дБ, что соответствует звуковому давлению 200 Па и интенсивности 100 Вт/м^2. Звуковые ощущения оцениваются по порогу дискомфорта (слабая боль в ухе, ощущение касания, щекотания).

Шум определяют как совокупность апериодических звуков различной интенсивности и частоты. Окружающие человека шумы имеют разную интенсивность: разговорная речь — 50...60 дБА, автосирена — 100 дБА, шум двигателя легкового автомобиля — 80 дБА, громкая музыка —70 дБА, шум от движения трамвая —70...80 дБА, шум в обычной квартире —30...40 дБА.

По спектральному составу в зависимости от преобладания звуковой энергии в соответствующем диапазоне частот различают низко-, средне- и высокочастотные шумы, по временным характеристикам — постоянные и непостоянные, последние, в свою очередь, делятся на колеблющиеся, прерывистые и импульсные, по длительности действия — продолжительные и кратковременные. С гигиенических позиций придается большое значение амплитудно-временным, спектральным и вероятностным параметрам непостоянных шумов, наиболее характерных для современного производства.

Интенсивный шум на производстве способствует снижению внимания и увеличению числа ошибок при выполнении работы, исключительно сильное влияние оказывает шум на быстроту реакций, сбор информации и аналитические процессы, из-за шума снижается про-

изводительность труда и ухудшается качество работы. Шум затрудняет своевременную реакцию работающих на предупредительные сигналы внутрицехового транспорта (автопогрузчиков, мостовых кранов и т. п.), что способствует возникновению несчастных случаев на производстве.

В биологическом отношении шум является заметным стрессовым фактором, способным вызвать срыв приспособительных реакций. Акустический стресс может приводить к разным проявлениям: от функциональных нарушений регуляции ЦНС до морфологически обозначенных дегенеративных деструктивных процессов в разных органах и тканях. Степень шумовой патологии зависит от интенсивности и продолжительности воздействия, функционального состояния ЦНС и, что очень важно, от индивидуальной чувствительности организма к акустическому раздражителю. Индивидуальная чувствительность к шуму составляет 4...17 %. Считают, что повышенная чувствительность к шуму определяется сенсибилизированной вегетативной реактивностью, присущей 11 % населения. Женский и детский организм особенно чувствительны к шуму. Высокая индивидуальная чувствительность может быть одной из причин повышенной утомляемости и развития различных неврозов.

Шум оказывает влияние на весь организм человека: угнетает ЦНС, вызывает изменение скорости дыхания и пульса, способствует нарушению обмена веществ, возникновению сердечно-сосудистых заболеваний, гипертонической болезни, может приводить к профессиональным заболеваниям.

Шум с уровнем звукового давления до 30...35 дБ привычен для человека и не беспокоит его. Повышение этого уровня до 40...70 дБ в условиях среды обитания создает значительную нагрузку на нервную систему, вызывая ухудшение самочувствия и при длительном действии может быть причиной неврозов. Воздействие шума уровнем свыше 75 дБ может привести к потере слуха — профессиональной тугоухости. При действии шума высоких уровней (более 140 дБ) возможен разрыв барабанных перепонок, контузия, а при еще более высоких (более 160 дБ) и смерть.

Специфическое шумовое воздействие, сопровождающееся повреждением слухового анализатора, проявляется медленно прогрессирующим снижением слуха. У некоторых лиц серьезное шумовое повреждение слуха может наступить в первые месяцы воздействия, у других — потеря слуха развивается постепенно, в течение всего периода работы на производстве. Снижение слуха на 10 дБ практически неощутимо, на 20 дБ — начинает серьезно мешать человеку, так как

нарушается способность слышать важные звуковые сигналы, наступает ослабление разборчивости речи.

Оценка состояния слуховой функции базируется на количественном определении потерь слуха и производится по показателям аудиометрического исследования. Основным методом исследования слуха является тональная аудиометрия. При оценке слуховой функции определяющими приняты средние показатели порогов слуха в области восприятия речевых частот (500, 1000, 2000 Гц), а также потеря слухового восприятия в области 4000 Гц.

Критерием профессионального снижения слуха принят показатель средней арифметической величины снижения слуха в речевом диапазоне, равный 11 дБ и более. Помимо патологии органа слуха при воздействии шума наблюдаются отклонения в состоянии вестибулярной функции, а также общие неспецифические изменения в организме; рабочие жалуются на головные боли, головокружение, боли в области сердца, повышение артериального давления, боли в области желудка и желчного пузыря, изменение кислотности желудочного сока. Шум вызывает снижение функции защитных систем и общей устойчивости организма к внешним воздействиям.

Нормируемые параметры шума на рабочих местах определены ГОСТ 12.1.003—83* с дополнениями 1989 г. и Санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562—96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Документы дают классификацию шумов по спектру на широкополосные и тональные, а по временным характеристикам — на постоянные и непостоянные. Для нормирования постоянных шумов применяют допустимые уровни звукового давления (УЗД) в девяти октавных полосах частот (табл. 6.9) в зависимости от вида производственной деятельности. Для ориентировочной оценки в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах допускается принимать уровень звука (дБА), определяемый по шкале А шумомера с коррекцией низкочастотной составляющей по закону чувствительности органов слуха и приближением результатов объективных измерений к субъективному восприятию.

Непостоянные шумы делятся на колеблющиеся во времени, прерывистые и импульсные. Нормируемой характеристикой непостоянного шума является эквивалентный по энергии уровень звука (дБА). Допустимые значения эквивалентных уровней непостоянных широкополосных шумов приведены в табл. 6.9.

Для тонального и импульсного шума допустимый уровень звука должен быть на 5 дБ меньше значений, указанных в табл. 6.9. Эквивалентный по энергии уровень звука

Таблица 6.9. **Допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентного уровня звука на рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий по ГОСТ 12.1.003—83* с дополнениями 1989 г. (извлечение)**

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Помещения конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, лабораторий для теоретических работ	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Помещения управления, рабочие комнаты	93	79	70	68	58	55	52	50	49	60
Кабины наблюдений и дистанционного управления:										
без речевой связи по телефону	103	94	87	82	78	75	73	71	70	80
с речевой связью по телефону	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
Помещения и участки точной сборки, машинописные бюро	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, для размещения шумных агрегатов, вычислительных машин	107	94	87	82	78	75	73	71	70	80
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	110	99	92	86	83	80	78	76	74	85

$$L_{\text{Аэкв}} = 10\lg\left(\frac{1}{100}\sum_{i=1}^{n}\tau_i \cdot 10^{0,1L_i}\right),$$

где τ_i — относительное время воздействия шума класса L_i, % времени измерения; L_i — уровень звука класса i, дБА.

При оценке шума допускается использовать дозу шума, так как установлена линейная зависимость доза — эффект по временному смещению порога слуха, что свидетельствует об адекватности оценки шума по энергии. Дозный подход позволяет также оценить кумуляцию шумового воздействия за рабочую смену.

Нормирование допустимого шума в жилых помещениях, общественных зданиях и на территории жилой застройки осуществляется в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562—96.

Оценивать и прогнозировать потери слуха, связанные с действием производственного шума, дает возможность стандарт ИСО 1999: (1975) «Акустика — определение профессиональной экспозиции шума и оценка нарушений слуха, вызванных шумом».

В производственных условиях нередко возникает опасность комбинированного влияния высокочастотного шума и низкочастотного ультразвука, например при работе реактивной техники, при плазменных технологиях.

Ультразвук как упругие волны не отличается от слышимого звука, однако частота колебательного процесса способствует большему затуханию колебаний вследствие трансформации энергии в теплоту.

По частотному спектру ультразвук классифицируют на: низкочастотный — колебания $1{,}12 \cdot 10^4...1{,}0 \cdot 10^5$ Гц; высокочастотный — $1{,}0 \cdot 10^5...1{,}0 \cdot 10^9$ Гц; по способу распространения — на воздушный и контактный ультразвук.

Низкочастотные ультразвуковые колебания хорошо распространяются в воздухе. Биологический эффект воздействия их на организм зависит от интенсивности, длительности воздействия и размеров поверхности тела, подвергаемой действию ультразвука. Длительное систематическое влияние ультразвука, распространяющегося в воздухе, вызывает функциональные нарушения нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем, слухового и вестибулярного анализаторов. У работающих на ультразвуковых установках отмечают выраженную астению, сосудистую гипотонию, снижение электрической активности сердца и мозга. Изменения ЦНС в начальной фазе проявляются нарушением рефлекторных функций мозга (чувство страха в темноте, в ограниченном пространстве, резкие приступы с учащением пульса, чрезмерной потливостью, спазмы в желудке, ки-

шечнике, желчном пузыре). Наиболее характерны вегетососудистая дистония с жалобами на резкое утомление, головные боли и чувство давления в голове, затруднения при концентрации внимания, торможение мыслительного процесса, на бессонницу.

Контактное воздействие высокочастотного ультразвука на руки приводит к нарушению капиллярного кровообращения в кистях рук, снижению болевой чувствительности, т. е. развиваются периферические неврологические нарушения. Установлено, что ультразвуковые колебания могут вызывать изменения костной структуры с разрежением плотности костной ткани.

Профессиональные заболевания зарегистрированы лишь при контактной передаче ультразвука на руки — вегетосенсорная (ангионевроз) или сенсомоторная полиневропатия рук.

Гигиенические нормативы ультразвука определены ГОСТ 12.1.001—89 и СанПиН 2.2.4.582—96. Гигиенической характеристикой воздушного ультразвука на рабочих местах являются уровни звукового давления (дБ) в третьоктавных полосах со среднегеометрическими частотами 12,5...100 кГц:

Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, кГц	**Уровень звукового давления, дБ**
12,5	80
16	80(90)
20	100
25	105
31,5 — 100,0	110

По согласованию с заказчиком допускается устанавливать значение показателя, указанное в скобках.

Характеристикой контактного ультразвука является пиковое значение виброскорости или его логарифмический уровень (табл. 6.10).

Допустимые уровни контактного ультразвука следует принимать на 5 дБ ниже значений, указанных в табл. 6.10, в тех случаях, когда работающие подвергаются совместному воздействию воздушного и контактного ультразвука.

Таблица 6.10. **Допустимые уровни виброскорости и ее пиковые значения на рабочих местах**

Среднегеометрические частоты октавных полос, кГц	Пиковые значения виброскорости, м/с	Уровни виброскорости, дБ
8—63	$5 \cdot 10^{-3}$	100
125—500	$8,9 \cdot 10^{-3}$	105
1000—31 500	$1,6 \cdot 10^{-2}$	110

Инфразвук — область акустических колебаний с частотой, ниже 16...20 Гц. В условиях производства инфразвук, как правило, сочетается с низкочастотным шумом, в ряде случаев — с низкочастотной вибрацией.

При воздействии инфразвука на организм уровнем 110...150 дБ могут возникать неприятные субъективные ощущения и многочисленные реактивные изменения: нарушения в ЦНС, сердечно-сосудистой и дыхательной системах, вестибулярном анализаторе. Отмечают жалобы на головные боли, головокружение, осязаемые движения барабанных перепонок, звон в ушах и голове, снижение внимания и работоспособности; может появиться чувство страха, сонливость, затруднение речи; специфическая для действия инфразвука реакция — нарушение равновесия. При воздействии инфразвука с уровнем 105 дБ отмечены психофизиологические реакции в форме повышения тревожности и неуверенности, эмоциональной неустойчивости.

Установлен аддитивный характер действия инфразвука и низкочастотного шума. Следует отметить, что производственный шум и вибрация оказывают более агрессивное действие, чем инфразвук сопоставимых параметров.

Гигиеническая регламентация инфразвука производится по Санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.583—96, которые задают для постоянного инфразвука предельно допустимые уровни звукового давления (УЗД) на рабочих местах для различных видов работ, а также в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки (табл. 6.11). Для колеблющегося во времени и прерывистого инфразвука уровни звукового давления, измеренные по шкале шумомера «Лин», не должны превышать 120 дБ.

Таблица 6.11. **Предельно допустимые уровни инфразвука в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц, на рабочих местах и на территории жилой застройки**

Название помещений	Уровни звукового давления, дБ				Общий уровень звукового давления, $L_{лин}$, дБ
	2	4	8	16	
Производственное:					
работа различной степени тяжести	100	95	90	85	100
работа различной степени интеллектуально-эмоциональной напряженности	95	90	85	80	95
Территория жилой застройки	90	85	80	75	90
Помещения жилых и общественных зданий	75	70	65	60	75

На людей и животных может воздействовать *ударная волна.* Прямое воздействие возникает в результате воздействия избыточного давления и скоростного напора воздуха. Ввиду небольших размеров тела человека ударная волна мгновенно охватывает человека и подвергает его сильному сжатию в течение нескольких секунд. Мгновенное повышение давления воспринимается живым организмом как резкий удар. Скоростной напор при этом создает значительное лобовое давление, которое может привести к перемещению тела в пространстве. Косвенные поражения людей и животных могут произойти в результате ударов осколков стекла, шлака, камней, дерева и других предметов, летящих с большой скоростью.

Степень воздействия ударной волны зависит от мощности взрыва, расстояния, метеоусловий, местонахождения (в здании, на открытой местности) и положения человека (лежа, сидя, стоя) и характеризуется легкими, средними, тяжелыми и крайне тяжелыми травмами.

Избыточное давление во фронте ударной волны 10 кПа и менее для людей и животных, расположенных вне укрытий, считается безопасным. Легкие поражения наступают при избыточном давлении 20...40 кПа. Они выражаются кратковременными нарушениями функций организма (звоном в ушах, головокружением, головной болью). Возможны вывихи, ушибы. Поражения средней тяжести возникают при избыточном давлении 40...60 кПа. При этом могут быть вывихи конечностей, контузии головного мозга, повреждение органов слуха, кровотечения из носа и ушей.

Тяжелые контузии и травмы возникают при избыточном давлении 60...100 кПа. Они характеризуются выраженной контузией всего организма, переломами костей, кровотечениями из носа, ушей; возможно повреждение внутренних органов и внутреннее кровотечение. Крайне тяжелые контузии и травмы у людей возникают при избыточном давлении более 100 кПа. Отмечаются разрывы внутренних органов, переломы костей, внутренние кровотечения, сотрясение мозга с длительной потерей сознания. Разрывы наблюдаются в органах, содержащих большое количество крови (печени, селезенке, почках), наполненных газом (легких, кишечнике), имеющих полости, наполненные жидкостью (головном мозге, мочевом и желчном пузырях). Эти травмы могут привести к смертельному исходу.

Радиус поражения обломками зданий, особенно осколками стекол, разрушающихся при избыточном давлении 2...7 кПа, может превысить радиус непосредственного поражения ударной волной.

Воздушная ударная волна также действует на растения. Полное повреждение лесного массива наблюдается при избыточном давлении более 50 кПа. Деревья при этом вырываются с корнем, ломаются

и отбрасываются, образуются сплошные завалы. При избыточном давлении 30...50 кПа повреждается около 50 % деревьев, создаются сплошные завалы, а при избыточном давлении 10...30 кПа — до 30 % деревьев. Молодые деревья более устойчивы, чем старые.

6.2.3. Электромагнитные поля и излучения

Спектр электромагнитных колебаний по частоте достигает 10^{21} Гц. В зависимости от энергии фотонов (квантов) его подразделяют на область неионизирующих и ионизирующих излучений. В гигиенической практике к неионизирующим излучениям относят также электрические и магнитные поля.

К ЭМП промышленной частоты относятся линии электропередач (ЛЭП) напряжением до 1150 кВ, открытые распределительные устройства, включающие коммутационные аппараты, устройства защиты и автоматики, измерительные приборы. Они являются источниками электрических и магнитных полей промышленной частоты (50 Гц). Длительное действие таких полей приводит к расстройствам, которые субъективно выражаются жалобами на головную боль в височной и затылочной области, вялость, расстройство сна, снижение памяти, повышенную раздражительность, апатию, боли в области сердца. Для хронического воздействия ЭМП промышленной частоты характерны нарушения ритма и замедление частоты сердечных сокращений. У работающих с ЭМП промышленной частоты могут наблюдаться функциональные нарушения в ЦНС и сердечно-сосудистой системе, в составе крови. Поэтому необходимо ограничивать время пребывания человека в зоне действия электрического поля, создаваемого токами промышленной частоты напряжением выше 400 кВ.

Нормирование ЭМП промышленной частоты осуществляют по предельно допустимым уровням напряженности электрического поля E (кВ/м), напряженности магнитного поля H (А/м) или индукции магнитного поля B (мкТл) частотой 50 Гц в зависимости от времени пребывания в электромагнитном поле на рабочих местах персонала и регламентируются Санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПиН 2.2.4.1191—03.

Пребывание в ЭП напряженностью до 5 кВ/м включительно допускается в течение всего рабочего дня. Допустимое время (ч) пребывания в ЭП напряженностью 5...20 кВ/м

$$T = \frac{50}{E} - 2,$$

где E — напряженность воздействующего ЭП в контролируемой зоне, кВ/м.

Допустимое время пребывания в ЭП может быть реализовано одноразово или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время напряженность ЭП не должна превышать 5 кВ/м. При напряженности ЭП 20...25 кВ/м время пребывания персонала в ЭП не должно превышать 10 мин. Предельно допустимый уровень напряженности ЭП устанавливается равным 25 кВ/м.

При нахождении персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью ЭП время пребывания

$$T_{пр} = 8\left(\frac{t_{E_1}}{T_{E_1}} + \frac{t_{E_2}}{T_{E_2}} + \ldots + \frac{t_{E_n}}{T_{E_n}}\right),$$

где $T_{пр}$ — приведенное время, эквивалентное по биологическому эффекту пребыванию в ЭП нижней границы нормируемой напряженности, ч ($T_{пр} \leq 8$ ч); t_{E1}, t_{E2}, ..., t_{En} — время пребывания в контролируемых зонах с напряженностью E_1, E_2, ..., E_n; T_{E1}, T_{E2}, ..., T_{En} — допустимое время пребывания в ЭП для соответствующих контролируемых зон. Различие в уровнях напряженности ЭП контролируемых зон устанавливается 1 кВ/м.

Влияние электрических полей переменного тока промышленной частоты в условиях населенных мест (внутри жилых зданий, на территории жилой застройки и на участках пересечения воздушных линий с автомобильными дорогами) ограничивается «Санитарными нормами и правилами защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты» № 2971—84. В качестве предельно допустимых уровней приняты следующие значения напряженности электрического поля:

— внутри жилых зданий 0,5 кВ/м;

— на территории жилой застройки 1 кВ/м;

— в населенной местности, вне зоны жилой застройки (земли городов в пределах городской черты в границах их перспективного развития на 10 лет, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа, в пределах поселковой черты этих пунктов), а также на территории огородов и садов 5 кВ/м;

— на участках пересечения воздушных линий (ВЛ) с автомобильными дорогами I—IV категории 10 кВ/м;

— в ненаселенной местности (незастроенные местности, хотя бы и частично посещаемые людьми, доступные для транспорта, и сельскохозяйственные угодья) 15 кВ/м;

— в труднодоступной местности (не доступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на участках, специально выгороженных для исключения доступа населения 20 кВ/м.

Кроме электрических полей промышленной частоты, на работающих воздействуют периодические (синусоидальные) магнитные поля — МП (50 Гц). МП образуется в электроустановках, работающих на токе любого напряжения. Его интенсивность выше вблизи выводов генераторов, токопроводов, силовых трансформаторов и т. д.

Согласно современным представлениям, основным механизмом биологического действия МП являются вихревые токи, которые индуцируются им в теле человека. При этом реакции организма имеют неспецифический характер, проявляющийся в возникновении изменений функционального состояния нервной, сердечно-сосудистой, иммунной систем.

Оценку воздействия периодического МП на человека согласно СанПиН 2.2.4.1191—03 производят на основании двух параметров — интенсивности и продолжительности воздействия.

Таблица 6.12. **Предельно допустимые уровни периодического МП**

Время пребывания, ч	Допустимые уровни МП, Н [А/м]/В [мкТл] при воздействии	
	общем	локальном
≤ 1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

Интенсивность воздействия МП определяется напряженностью (Н) или магнитной индукцией (В). Напряженность МП выражается в амперах на метр (А/м; кратная величина кА/м), магнитная индукция — в теслах (тл; дольные величины мТл, мкТл, нТл). Индукция и напряженность МП связаны следующим соотношением:

$$B = \mu_0 \cdot H,$$

где $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная. Если B измеряется в мкТл, то 1 А/м ≈ 1,25 мкТл.

Предельно допустимые уровни МП устанавливают в зависимости от длительности пребывания персонала для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия (табл. 6.12).

При необходимости пребывания персонала в зонах с различной напряженностью МП общее время выполнения работ в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной

напряженностью. Допустимое время пребывания может быть реализовано за 1 раз или дробно в течение рабочего дня. Для условий воздействия магнитных полей 50 Гц в соответствии с СанПиН 2.2.4.1191—03 предельно допустимые уровни амплитудного значения напряженности МП ($H_{ПДУ}$) дифференцированы в зависимости от общей продолжительности воздействия за рабочую смену и характеристики импульсных режимов генерации. Требования по защите персонала от воздействия импульсных электромагнитных полей даны в СанПиН 2.2.4.1329—03.

Воздействие *электростатического поля* (ЭСП) — статического электричества — на человека связано с протеканием через него слабого тока (несколько микроампер). При этом электротравм никогда не наблюдается. Однако вследствие рефлекторной реакции на ток (резкое отстранение от заряженного тела) возможна механическая травма при ударе о рядом расположенные элементы конструкций, падении с высоты и т. д.

Исследование биологических эффектов показало, что наиболее чувствительны к электростатическому полю ЦНС, сердечно-сосудистая система, анализаторы. Люди, работающие в зоне воздействия ЭСП, жалуются на раздражительность, головную боль, нарушение сна и др. Характерны своеобразные «фобии», обусловленные страхом ожидаемого разряда, склонность к психосоматическим расстройствам с повышенной эмоциональной возбудимостью и быстрой истощаемостью, неустойчивость показателей пульса и артериального давления.

Нормирование уровней напряженности ЭСП осуществляют в соответствии с СанПиН 2.2.4.1191—03 и ГОСТ 12.1.045—84 в зависимости от времени пребывания персонала на рабочих местах. Предельно допустимый уровень напряженности ЭСП $E_{пред}$ равен 60 кВ/м в течение 1 ч. При напряженности менее 20 кВ/м время пребывания в ЭСП не регламентируется. В диапазоне напряженности 20...60 кВ/м допустимое время пребывания персонала в ЭСП без средств защиты (ч)

$$t_{доп} = E^2_{пред}/E^2_{факт},$$

где $E_{факт}$ — фактическое значение напряженности ЭСП, кВ/м.

Допустимые уровни напряженности ЭСП и плотности ионного потока для персонала подстанций и ВЛ постоянного тока ультравысокого напряжения установлены СН № 6032—91.

Магнитные поля могут быть постоянными (ПМП) от искусственных магнитных материалов и систем, импульсными (ИМП), инфранизкочастотными (с частотой до 50 Гц), переменными (ПеМП). Действие магнитных полей может быть непрерывным и прерывистым.

Степень воздействия магнитного поля (МП) на работающих зависит от максимальной напряженности его в рабочем пространстве магнитного устройства или в зоне влияния искусственного магнита. Доза, полученная человеком, зависит от расположения рабочего места по отношению к МП и режима труда. Каких-либо субъективных воздействий ПМП не вызывают. При действии ПеМП наблюдаются характерные зрительные ощущения, так называемые фосфены, которые исчезают в момент прекращения воздействия.

При постоянной работе в условиях хронического воздействия МП, превышающих предельно допустимые уровни, развиваются нарушения функций нервной, сердечно-сосудистой и дыхательной систем, пищеварительного тракта, изменения в крови. При преимущественно локальном воздействии могут развиваться вегетативные и трофические нарушения, как правило, в областях тела, находящегося под непосредственным воздействием МП (чаще всего рук). Они проявляются ощущением зуда, бледностью или синюшностью кожных покровов, отечностью и уплотнением кожи, в некоторых случаях развивается гиперкератоз (ороговелость).

Оценку и нормирование постоянного магнитного поля (ПМП) осуществляют по уровню магнитного поля дифференцированно в зависимости от времени его воздействия на работника за смену для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье) воздействия. Уровень ПМП оценивают в единицах напряженности магнитного поля H (А/м) или единицах магнитной индукции B (мТл).

В соответствии с СанПиН 2.2.4.1191—03 напряженность МП на рабочем месте не должна превышать 8 кА/м. Напряженность МП линии электропередачи напряжением до 750 кВ обычно не превышает 20...25 А/м, что не представляет опасности для человека.

Большую часть спектра неионизирующих *электромагнитных излучений* (ЭМИ) составляют радиоволны (3 Гц...3000 ГГц), меньшую часть — колебания оптического диапазона (инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое излучение). В зависимости от частоты падающего электромагнитного излучения ткани организмов проявляют различные электрические свойства и ведут себя как проводник или как диэлектрик.

С учетом радиофизических характеристик условно выделяют пять диапазонов частот: от единиц до нескольких тысяч герц, от нескольких тысяч до 30 МГц, 30 МГц...10 ГГц, 10...200 ГГц и 200...3000 ГГц.

Действующим началом колебаний первого диапазона являются протекающие токи соответствующей частоты через тело как хороший проводник; для второго диапазона характерно быстрое убывание с уменьшением частоты поглощения энергии, а следовательно, и по-

глощенной мощности; особенностью третьего диапазона является «резонансное» поглощение. У человека такой характер поглощения возникает при действии ЭМИ с частотой, близкой к 70 МГц; для четвертого и пятого диапазонов характерно максимальное поглощение энергии поверхностными тканями, преимущественно кожей.

В целом по всему спектру поглощение энергии ЭМИ зависит от частоты колебаний, электрических и магнитных свойств среды. При одинаковых значениях напряженности поля коэффициент поглощения в тканях с высоким содержанием воды примерно в 60 раз выше, чем в тканях с низким содержанием. С увеличением длины волны глубина проникновения электромагнитных волн возрастает; различие диэлектрических свойств тканей приводит к неравномерности их нагрева, возникновению макро- и микротепловых эффектов со значительным перепадом температур.

В зависимости от места и условий воздействия ЭМИ различают четыре вида облучения: профессиональное, непрофессиональное, облучение в быту и облучение, осуществляемое в лечебных целях, а по характеру облучения — общее и местное.

Степень и характер воздействия ЭМИ на организм определяются плотностью потока энергии, частотой излучения, продолжительностью воздействия, режимом облучения (непрерывный, прерывистый, импульсный), размером облучаемой поверхности, индивидуальными особенностями организма, наличием сопутствующих факторов (повышенная температура окружающего воздуха, свыше 28°С, наличие рентгеновского излучения). Наряду с интенсивностно-временными параметрами воздействия имеют значение режимы модуляции (амплитудный, частотный или смешанный) и условия облучения. Установлено, что относительная биологическая активность импульсных излучений выше непрерывных.

Биологические эффекты от воздействия ЭМИ могут проявляться в различной форме: от незначительных функциональных сдвигов до нарушений, свидетельствующих о развитии явной патологии. Следствием поглощения энергии ЭМИ является тепловой эффект. Избыточная теплота, выделяющаяся в организме человека, отводится путем увеличения нагрузки на механизм терморегуляции; начиная с определенного предела организм не справляется с отводом теплоты от отдельных органов и температура их может повышаться. Воздействие ЭМИ особенно вредно для тканей со слаборазвитой сосудистой системой или недостаточным кровообращением (глаза, мозг, почки, желудок, желчный и мочевой пузырь). Облучение глаз может привести к помутнению хрусталика (катаракте), причем развитие катаракты является одним из немногих специфических поражений, вызываемых

ЭМИ радиочастот в диапазоне 300 МГц...300 ГГц при плотности потока энергии (ППЭ) свыше 10 мВт/см^2. Помимо катаракты при воздействии ЭМИ возможны ожоги роговицы.

Для длительного действия ЭМИ различных диапазонов длин волн при умеренной интенсивности (выше ПДУ) характерным считают развитие функциональных расстройств в ЦНС с нерезко выраженными сдвигами эндокринно-обменных процессов и состава крови. В связи с этим могут появиться головные боли, повышение или понижение давления, урежение пульса, изменение проводимости в сердечной мышце, нервно-психические расстройства, быстрое развитие утомления. Возможны трофические нарушения: выпадение волос, ломкость ногтей, снижение массы тела. Наблюдаются изменения возбудимости обонятельного, зрительного и вестибулярного анализаторов. На ранней стадии изменения носят обратимый характер, при продолжающемся воздействии ЭМИ происходит стойкое снижение работоспособности.

В пределах радиоволнового диапазона доказана наибольшая биологическая активность микроволнового СВЧ-поля в сравнении с ВЧ и УВЧ.

Острые нарушения при воздействии ЭМИ (аварийные ситуации) сопровождаются сердечно-сосудистыми расстройствами с обмороками, резким учащением пульса и снижением артериального давления. В последнее время особое беспокойство у специалистов в области электромагнитной безопасности человека вызывают сотовые телефоны и компьютеры, а также разнообразные радиоэлектронные и электрические изделия, широко используемые в быту: телевизоры, игровые приставки, микроволновые печи, электроплиты, электрочайники, холодильники, электроутюги, электрофены, электробритвы, электромассажеры, электрогрелки, электроодеяла, отопительные электрорадиаторы и другая бытовая техника.

Согласно определению стресса как общего адаптационного синдрома, вызывающего неспецифические реакции организма, ЭМИ, безусловно, могут быть определены как стрессирующий фактор. Уже при уровнях, превышающих фоновые, но не достигающих ПДУ для соответствующего диапазона частот, отмечаются значимые функциональные изменения состояния сердечно-сосудистой и нервной систем, гематологических, иммуноцитохимических показателей, свидетельствующие об адаптационно-компенсаторных процессах в организме, что является проявлением реакции напряжения. Субъективно человеком отмечаются повышенная раздражительность, утомляемость, головные боли, расстройства сна, памяти.

Систематическое воздействие на человека ЭМИ с уровнями, превышающими ПДУ, приводит к развитию явлений дезадаптации, что проявляется в виде серьезных изменений в состоянии его здоровья, которые, однако, не имеют специфического характера.

В первую очередь страдают центральная нервная, эндокринная и иммунная системы.

В настоящее время имеются данные, свидетельствующие о том, что ЭМИ следует рассматривать как один из факторов риска в развитии раннего атеросклероза, гипертонической болезни, ишемической болезни сердца и инфаркта миокарда, синдрома депрессии таких нейродегенеративных заболеваний, как болезни Альцгеймера и Паркинсона, прогрессирующая мышечная атрофия.

Нормирование ЭМИ радиочастотного диапазона проводится по ГОСТ 12.1.006—84* СанПиН 2.2.4.1191—03 для производственной среды и Санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2.4/2.1.8.055—96 для условий окружающей среды. В основу гигиенического нормирования положен принцип действующей дозы, учитывающей энергетическую экспозицию *ЭЭ*.

В диапазоне частот 60 кГц...300 МГц интенсивность электромагнитного поля выражается предельно допустимой напряженностью $E_{пд}$ электрического и $H_{пд}$ магнитного полей. Помимо напряженности нормируемым значением является предельно допустимая энергетическая экспозиция электрического *ЭЭ* и магнитного полей $ЭЭ_H$. Энергетическая нагрузка, создаваемая электрическим полем, равна $ЭЭ_E = E^2 T$, магнитным — $ЭЭ_H = H^2 T$ (где T — время воздействия, ч).

Предельно допустимые значения E и H в диапазоне частот 60 кГц...300 МГц на рабочих местах персонала устанавливают, исходя из допустимой энергетической экспозиции и времени воздействия, и могут быть определены по следующим формулам:

$$E_{пд} = \sqrt{\frac{ЭЭ_{E_{пд}}}{T}}, \quad H_{пд} = \sqrt{\frac{ЭЭ_{H_{пд}}}{T}},$$

где $ЭЭ_{E_{пд}}$ и $ЭЭ_{H_{пд}}$ — предельно допустимые значения энергетической экспозиции в течение рабочего дня, (В/м^2) ч и (А/м)^2 ч (табл. 6.13).

Таблица 6.13. **Максимальные значения $E_{пд}$, $H_{пд}$, $ЭЭ_{E_{пд}}$, $ЭЭ_{H_{пд}}$**

Параметр	Диапазоны частот, МГц		
	0,03...3	3...30	30...300
$E_{пд}$, В/м	500	300	80
$H_{пд}$, А/м	50	—	—
$ЭЭ_{E_{пд}}$, (В/м^2) ч	20 000	7000	800
$ЭЭ_{H_{пд}}$, (А/м)^2 ч	200	—	—

В диапазоне частот 300 МГц...300 ГГц интенсивность ЭМИ характеризуется плотностью потока энергии (ППЭ); энергетическая экспозиция представляет собой произведение плотности потока энергии поля на время его воздействия $ЭЭ_{ППЭ} = ППЭ\ T$.

Предельно допустимые значения ППЭ электромагнитного поля

$$ППЭ_{пд} = kЭЭ_{ППЭ_{пд}}/T,$$

где k — коэффициент ослабления биологической эффективности, равный: 1 — для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн; 10 — для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн; 12,5 — для случаев локального облучения кистей рук (при этом уровни воздействия на другие части тела не должны превышать 10 мкВт/см^2); $ЭЭ_{ППЭ_{пд}}$ — предельно допустимая энергетическая экспозиция, равная 2 Вт · ч/м; T — время пребывания в зоне облучения за рабочую смену, ч.

Во всех случаях максимальное значение $ППЭ_{пд}$ не должно превышать 10 Вт/м^2, а при локальном облучении кистей рук —50 Вт/м^2.

Геомагнитное поле (ГМП). Нормирование и оценка ослабления геомагнитного поля на рабочем месте проводится по СанПиН 2.2.4.1191—03 на основании определения его интенсивности внутри помещения, объекта, технического средства и в открытом пространстве на территории, прилегающей к месту его расположения с последующим расчетом коэффициента ослабления ГПМ, который не должен превышать 2 на рабочих местах в течение смены.

Инфракрасное излучение (ИК) — часть электромагнитного спектра с длиной волны λ = 780 нм...1000 мкм, энергия которого при поглощении в веществе вызывает тепловой эффект. С учетом особенностей биологического действия ИК-диапазон спектра подразделяют на три области: ИК-А (780...1400 нм), ИК-В (1400...3000 нм) и ИК-С (3000 нм...1000 мкм). Наиболее активно коротковолновое ИК-излучение, так как оно обладает наибольшей энергией фотонов, способно глубоко проникать в ткани организма и интенсивно поглощаться водой, содержащейся в тканях. Например, интенсивность 70 Вт/м^2 при длине волны λ = 1500 нм уже дает повреждающий эффект вследствие специфического воздействия лучистой теплоты (в отличие от конвекционной) на структурные элементы клеток тканей, на белковые молекулы с образованием биологически активных веществ.

Наиболее поражаемые у человека органы — кожный покров и органы зрения; при остром повреждении кожи возможны ожоги, резкое расширение артериокапилляров, усиление пигментации кожи; при хронических облучениях изменение пигментации может быть стойким, например эритемоподобный (красный) цвет лица у рабо-

чих — стеклодувов, сталеваров. К острым нарушениям органа зрения относится ожог конъюнктивы, помутнение и ожог роговицы, ожог тканей передней камеры глаза. При остром интенсивном ИК-излучении (100 Вт/см^2 для λ = 780...1800 нм) и длительном облучении (0,08...0,4 Вт/см^2) возможно образование катаракты. Коротковолновая часть ИК-излучения может фокусироваться на сетчатке, вызывая ее повреждение. ИК-излучение воздействует, в частности, на обменные процессы в миокарде, водно-электролитный баланс в организме, на состояние верхних дыхательных путей (развитие хронического ларингита, ринита, синуситов), не исключается мутагенный эффект ИК-облучения.

Нормирование ИК-излучения осуществляется по интенсивности допустимых интегральных потоков излучения с учетом спектрального состава, размера облучаемой площади, защитных свойств спецодежды для продолжительности действия более 50 % смены в соответствии с ГОСТ 12.1.005—88 и Санитарными правилами и нормами СанПиН 2.2.4.548—96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Видимое (световое) излучение — диапазон электромагнитных колебаний 780...400 нм. Излучение видимого диапазона при достаточных уровнях энергии также может представлять опасность для кожных покровов и органа зрения. Пульсации яркого света вызывают сужение полей зрения, оказывают влияние на состояние зрительных функций, нервной системы, общую работоспособность.

Широкополосное световое излучение больших энергий характеризуется световым импульсом, действие которого на организм приводит к ожогам открытых участков тела, временному ослеплению или ожогам сетчатки глаз (например, световое излучение ядерного взрыва). Минимальная ожоговая доза светового излучения колеблется 2,93...8,37 Дж/(см^2 · с) за время мигательного рефлекса (0,15 с). Сетчатка может быть повреждена при длительном воздействии света умеренной интенсивности, недостаточной для развития термического ожога, например при воздействии голубой части спектра (400...550 нм), оказывающей на сетчатку специфическое фотохимическое воздействие.

Оптическое излучение видимого и инфракрасного диапазона при избыточной плотности может приводить к истощению механизмов регуляции обменных процессов, особенно к изменениям в сердечной мышце с развитием дистрофии миокарда и атеросклероза.

Ультрафиолетовое излучение (УФИ) — спектр электромагнитных колебаний с длиной волны 200...400 нм. По биологическому эффекту выделяют три области УФИ: УФВ — с длиной волны 400...315 нм, от-

личается сравнительно слабым биологическим действием; УФВ — с длиной волны 315...280 нм, обладает выраженным загарным и антирахитическим действием; УФС — с длиной волны 280...200 нм, активно действует на тканевые белки и липиды, обладая выраженным бактерицидным действием.

Ультрафиолетовое излучение, составляющее приблизительно 5 % плотности потока солнечного излучения,— жизненно необходимый фактор, оказывающий благотворное стимулирующее действие на организм. Ультрафиолетовое облучение может понижать чувствительность организма к некоторым вредным воздействиям вследствие усиления окислительных процессов в организме и более быстрого выведения вредных веществ из организма. Под воздействием УФИ оптимальной плотности наблюдали более интенсивное выведение марганца, ртути, свинца; оптимальные дозы УФИ активизируют деятельность сердца, обмен веществ, повышают активность ферментов дыхания, улучшают кроветворение. Однако загрязнение атмосферы больших городов понижает ее прозрачность для УФИ, ограничивая его благотворное влияние на население.

Ультрафиолетовое излучение искусственных источников (например, электросварочных дуг, плазмотронов) может стать причиной острых и хронических профессиональных поражений. Наиболее уязвимы глаза, причем страдает преимущественно роговица и слизистая оболочка. Острые поражения глаз, так называемые электроофтальмии, представляют собой острый конъюнктивит, или кератоконъюнктивит. Заболевание проявляется ощущением постороннего тела или песка в глазах, светобоязнью, слезотечением. Нередко наблюдается эритема кожи лица и век. К хроническим заболеваниям относят хронический конъюнктивит, блефарит, катаракту. Роговица глаза наиболее чувствительна к излучению волны длиной 270...280 нм; наибольшее воздействие на хрусталик оказывает излучение в диапазоне 295...320 нм. Возможность поражающего действия УФА на сетчатку невелика, однако не исключена.

Кожные поражения протекают в форме острых дерматитов с эритемой, иногда отеком и образованием пузырей. Могут возникнуть общетоксические явления с повышением температуры, ознобом, головными болями. На коже после интенсивного УФ-облучения развивается гиперпигментация и шелушение. Длительное воздействие УФ-лучей приводит к «старению» кожи, атрофии эпидермиса, возможно развитие злокачественных новообразований. При повторном воздействии УФИ имеет место кумуляция биологических эффектов.

В комбинации с химическими веществами УФИ приводит к фотосенсибилизации — повышенной чувствительности организма к

свету с развитием фототоксических и фотоаллергических реакций. Фотоаллергия проявляется в виде экзематозных реакций, образования узелково-папулезной сыпи на коже и слизистых. Фотоаллергия может приводить к стойкому повышению чувствительности организма к УФИ даже в отсутствие фотосенсибилизатора. Канцерогенный эффект УФИ для кожи зависит от дозы регулярного УФ-облучения и некоторых других сопутствующих факторов (диеты, приема лекарственных препаратов, температуры кожи), малые дозы УФИ представляют относительно небольшую опасность.

Гигиеническое нормирование УФИ в производственных помещениях осуществляется по СН 4557—88, которые устанавливают допустимые плотности потока излучения в зависимости от длины волн при условии защиты органов зрения и кожи.

Допустимая интенсивность УФ-облучения работающих при незащищенных участках поверхности кожи не более 0,2 $м^2$ (лицо, шея, кисти рук и др.) общей продолжительностью воздействия излучения 50 % рабочей смены и длительности однократного облучения свыше 5 мин и более не должно превышать 10 $Вт/м^2$ для области УФА и 0,01 $Вт/м^2$ — для области УФВ. Излучение в области УФС при указанной продолжительности не допускается.

При использовании специальной одежды и средств защиты лица и рук, не пропускающих излучение (кожа, ткани с пленочным покрытием и т. п.), допустимая интенсивность облучения в области УФВ + УФС (200...315 нм) не должна превышать 1 $Вт/м^2$.

Лазерное излучение (ЛИ) представляет собой особый вид электромагнитного излучения, генерируемого в диапазоне длин волн 0,1...1000 мкм. Отличие ЛИ от других видов излучения заключается в монохроматичности, когерентности и высокой степени направленности. При оценке биологического действия следует различать прямое, отраженное и рассеянное ЛИ. Эффекты воздействия определяются механизмом взаимодействия ЛИ с тканями (тепловой, фотохимический, ударно-акустический и др.) и зависят от длины волны излучения, длительности импульса (воздействия), частоты следования импульсов, площади облучаемого участка, а также от биологических и физико-химических особенностей облучаемых тканей и органов. ЛИ с длиной волны 380...1400 нм представляет наибольшую опасность для сетчатки глаза, а излучение с длиной волны 180...380 нм и свыше 1400 нм — для передних сред глаза.

Повреждение кожи может быть вызвано лазерным излучением любой длины волны в спектральном диапазоне λ = 180...100 000 нм. При воздействии ЛИ в непрерывном режиме преобладают в основном тепловые эффекты, следствием которых является коагуляция

(свертывание) белка, а при больших мощностях — испарение биоткани. Степень повреждения кожи зависит от первоначально поглощенной энергии. Повреждения могут быть различными: от покраснения до поверхностного обугливания и образования глубоких дефектов кожи; значительные повреждения развиваются на пигментированных участках кожи (родимых пятнах, местах с сильным загаром). Минимальное повреждение кожи развивается при плотности энергии 0,1...1 Дж/см^2.

Лазерное излучение, особенно дальней инфракрасной области (свыше 1400 нм), способно проникать через ткани тела на значительную глубину, поражая внутренние органы (прямое ЛИ).

Импульсный режим воздействия ЛИ с длительностью импульса меньше 10^{-2} с связан с преобразованием энергии излучения в энергию механических колебаний, в частности ударной волны. Ударная волна состоит из группы импульсов различной длительности и амплитуды. Максимальную амплитуду имеет первый импульс сжатия, который является определяющим в возникновении повреждения глубоких тканей. Например, прямое облучение поверхности брюшной стенки вызывает повреждение печени, кишечника и других органов брюшной полости; при облучении головы возможны внутричерепные и внутримозговые кровоизлияния. Обычно различают локальное и общее повреждения организма.

Лазерное излучение представляет особую опасность для тех тканей, которые максимально поглощают излучение. Сравнительно легкая уязвимость роговицы и хрусталика глаза, а также способность оптической системы глаза увеличивать плотность энергии (мощности) излучения видимого и ближнего ИК-диапазона (750...1400 нм) на глазном дне до $6 \cdot 10^4$ раз по отношению к роговице делают глаз наиболее уязвимым органом. Степень повреждения глаза может изменяться от слабых ожогов сетчатки до полной потери зрения.

Повреждения сетчатки дифференцируют на временные нарушения, например ослепление от высокой яркости световой вспышки при плотности излучения на роговице около 150 Вт/см^2, и повреждения, сопровождающиеся разрушением сетчатки в форме термического ожога с необратимыми повреждениями или в виде «взрыва» зерен пигмента меланина, причем сила взрыва такова, что зерна пигмента выбрасываются в стекловидное тело.

Степень повреждения радужной оболочки ЛИ в значительной мере зависит от ее окраски. Зеленые и голубые глаза более уязвимы, чем карие. Длительное облучение глаза в диапазоне близкого инфракрасного ЛИ может привести к помутнению хрусталика; воздействие ЛИ ультрафиолетового диапазона (200...400 нм) поражает роговицу,

развивается кератит. Наибольшим фотокератическим действием обладает излучение с длиной волны 280 нм. Излучение с длиной волны 320 нм почти полностью поглощается в роговице и в передней камере глаза, а с длиной волны 320...390 нм — в хрусталике.

Длительное хроническое действие диффузно отраженного лазерного излучения вызывает неспецифические, преимущественно вегетативно-сосудистые нарушения; функциональные сдвиги могут наблюдаться со стороны нервной, сердечно-сосудистой систем, желез внутренней секреции.

При *нормировании* ЛИ устанавливают предельно допустимые уровни ЛИ для двух условий облучения — однократного и хронического, для трех диапазонов длин волн: 180...300 нм, 380...1400 нм, 1400...100 000 нм. Нормируемыми параметрами являются энергетическая экспозиция H и облученность E.

Гигиеническая регламентация ЛИ производится по Санитарным нормам и правилам устройства и эксплуатации лазеров — СанПиН 5804—91.

Для определения ПДУ ($H_{ПДУ}$ и $E_{ПДУ}$) при воздействии ЛИ на кожу усреднение производится по ограничивающей апертуре диаметром $1{,}1 \cdot 10^{-3}$ м (площадь апертуры $S_а = 10^{-6}$ м^2). Для определения $H_{ПДУ}$ и $E_{ПДУ}$ при воздействии ЛИ на глаза в диапазонах 180...380 нм и 1400...100 000 нм усреднение производится также по апертуре (зрачка) диаметром $1{,}1 \cdot 10^{-3}$ м, в диапазоне 380...1400 нм — по апертуре диаметром $7 \cdot 10^{-3}$ м.

Нормируются также энергия W и мощность P излучения, прошедшего через указанные ограничивающие апертуры. ПДУ ЛИ существенно различаются в зависимости от длины волны, длительности одиночного импульса, частоты следования импульсов; установлены раздельные ПДУ при воздействии на глаза и кожу.

В зависимости от выходной энергии (мощности) и ПДУ при однократном воздействии генерируемого излучения по степени опасности лазеры разделяют на четыре класса. К лазерам I класса относят полностью безопасные лазеры, выходное излучение которых не представляет опасности при облучении глаз и кожи. У лазеров II класса выходное излучение представляет опасность при облучении кожи или глаз человека коллимированным пучком (пучком, заключенным в ограниченном телесном угле); диффузно отраженное их излучение безопасно как для кожи, так и для глаз.

Выходное излучение лазеров III класса представляет опасность при облучении глаз не только коллимированным, но и диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от отражающей поверхности и (или) при облучении кожи коллимированным пучком. Диф-

фузно отраженное излучение не представляет опасности для кожи. Этот класс распространяется только на лазеры, генерирующее излучение которых в спектральном диапазоне составляет 380...1400 нм.

К лазерам IV класса относят такие лазеры, диффузно отраженное излучение которых представляет опасность для глаз и кожи на расстоянии 10 см от отражающей поверхности.

6.2.4. Ионизирующие излучения

Ионизирующее излучение вызывает в организме цепочку обратимых и необратимых изменений. Пусковым механизмом воздействия являются процессы ионизации и возбуждения атомов и молекул в тканях. Диссоциация сложных молекул в результате разрыва химических связей — прямое действие радиации. Существенную роль в формировании биологических эффектов играют радиационно-химические изменения, обусловленные продуктами радиолиза воды. Свободные радикалы водорода и гидроксильной группы, обладая высокой активностью, вступают в химические реакции с молекулами белка, ферментов и других элементов биоткани, что приводит к нарушению биохимических процессов в организме. В результате нарушаются обменные процессы, замедляется и прекращается рост тканей, возникают новые химические соединения, не свойственные организму. Это приводит к нарушению деятельности отдельных функций и систем организма.

Индуцированные свободными радикалами химические реакции развиваются с большим выходом, вовлекая в процесс сотни и тысячи молекул, не задействованных излучением. В этом состоит специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты. Эффекты развиваются в течение разных промежутков времени: от нескольких секунд до многих часов, дней, лет.

Ионизирующая радиация при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой ожог, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода и др.) и стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни).

Острые поражения развиваются при однократном равномерном гамма-облучении всего тела и поглощенной дозе выше 0,5 Гр. При дозе 0,25...0,5 Гр могут наблюдаться временные изменения в крови, которые быстро нормализуются. В интервале дозы 0,5...1,5 Гр возника-

ет чувство усталости, менее чем у 10 % облученных может наблюдаться рвота, умеренные изменения в крови. При дозе 1,5...2,0 Гр наблюдается легкая форма острой лучевой болезни, которая проявляется продолжительной лимфопенией, в 30...50 % случаев — рвота в первые сутки после облучения. Смертельные исходы не регистрируются.

Лучевая болезнь средней тяжести возникает при дозе 2,5...4,0 Гр. Почти у всех облученных в первые сутки наблюдаются тошнота, рвота, резко снижается содержание лейкоцитов в крови, появляются подкожные кровоизлияния, в 20 % случаев возможен смертельный исход, смерть наступает через 2...6 недель после облучения. При дозе 4,0...6,0 Гр развивается тяжелая форма лучевой болезни, приводящая в 50 % случаев к смерти в течение первого месяца. При дозах, превышающих 6,0 Гр, развивается крайне тяжелая форма лучевой болезни, которая почти в 100 % случаев заканчивается смертью вследствие кровоизлияния или инфекционных заболеваний. Приведенные данные относятся к случаям, когда отсутствует лечение. В настоящее время имеется ряд противолучевых средств, которые при комплексном лечении позволяют исключить летальный исход при дозах около 10 Гр.

Хроническая лучевая болезнь может развиться при непрерывном или повторяющемся облучении в дозах, существенно ниже тех, которые вызывают острую форму. Наиболее характерными признаками хронической лучевой болезни являются изменения в крови, ряд симптомов со стороны нервной системы, локальные поражения кожи, поражения хрусталика, пневмосклероз (при ингаляции плутония-239), снижение иммунореактивности организма.

Степень воздействия радиации зависит от того, является облучение внешним или внутренним (при попадании радиоактивного изотопа внутрь организма). Внутреннее облучение возможно при вдыхании, заглатывании радиоизотопов и проникновении их в организм через кожу. Некоторые вещества поглощаются и накапливаются в конкретных органах, что приводит к высоким локальным дозам радиации. Кальций, радий, стронций и другие накапливаются в костях, изотопы иода вызывают повреждение щитовидной железы, редкоземельные элементы — преимущественно опухоли печени. Равномерно распределяются изотопы цезия, рубидия, вызывая угнетение кроветворения, атрофию семенников, опухоли мягких тканей. При внутреннем облучении наиболее опасны альфа-излучающие изотопы полония и плутония.

Способность вызывать отдаленные последствия — лейкозы, злокачественные новообразования, раннее старение — одно из коварных свойств ионизирующего излучения.

Гигиеническая регламентация ионизирующего излучения осуществляется Нормами радиационной безопасности НРБ—99 (Санитарными правилами СП 2.6.1.758—99). Основные дозовые пределы облучения и допустимые уровни устанавливаются для следующих категорий облучаемых лиц:

— персонал — лица, работающие с техногенными источниками (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б);

— все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливают три класса нормативов: основные пределы доз (ПД), табл. 6.14, допустимые уровни, соответствующие основным пределам доз, и контрольные уровни.

Таблица 6.14. **Основные пределы доз (извлечение из НРБ —99)**

Нормируемые величины*	Пределы доз, мЗв	
	Персонал (группа А)**	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год:		
в хрусталике глаза***	150	15
коже****	500	50
кистях и стопах	500	50

Примечания:

* Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

** Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни облучения персонала группы *Б*, равны 1/4 значений для персонала группы *А*. Далее в тексте все нормативные значения для категории персонал приводятся только для группы *А*.

*** Относится к дозе на глубине 300 мг/см^2.

**** Относится к среднему по площади в 1 см^2 значению в базальном слое кожи толщиной 5 мг/см^2 под покровным слоем толщиной 5 мг/см^2. На ладонях толщина покровного слоя 40 мг/см^2. Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 см^2 площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает непревышение предела дозы на хрусталик от бета-частиц.

Доза эквивалентная $H_{T,R}$ — поглощенная доза в органе или ткани $D_{T,R}$, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного излучения W_R:

$$H_{T,R} = W_R D_{T,R}.$$

Единицей измерения эквивалентной дозы является Дж · кг$^{-1}$, имеющий специальное наименование зиверт (Зв).

Значения W_R для фотонов, электронов и мюонов любых энергий составляет 1, для α-частиц, осколков деления, тяжелых ядер —20.

Доза эффективная — величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органе $H_{\tau T}$ на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного органа или ткани W_T:

$$E = \sum_T H_{\tau T} W_T \ ,$$

где $H_{\tau,T}$ — эквивалентная доза в ткани T за время τ.

Единица измерения эффективной дозы — Дж · кг$^{-1}$, называемая зивертом (Зв).

Значения W_T для отдельных видов ткани и органов приведены ниже:

Вид ткани, орган	W_T
Гонады	0,2
Костный мозг, (красный), легкие, желудок	0,12
Печень, грудная железа, щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01

Основные пределы доз облучения не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) — 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) — 7 мЗв.

В табл. 6.15 приведены значения допустимого радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, кожи, спецодежды, спецобуви, средств индивидуальной защиты персонала.

Таблица 6.15. **Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, кожи, спецодежды и средств индивидуальной защиты, част/(см^2 · мин) (извлечение из НРБ—99)**

Объект загрязнения	α-Активные нуклиды		β-Активные нуклиды
	отдельные	прочие	
Неповрежденная кожа, полотенца, спецбелье, внутренняя поверхность лицевых частей средств индивидуальной защиты	2	2	200

Объект загрязнения	α-Активные нуклиды		β-Активные нуклиды
	отдельные	прочие	
Основная спецодежда, внутренняя поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, наружная поверхность спецобуви	5	20	2000
Наружная поверхность дополнительных средств индивидуальной защиты, снимаемой в саншлюзах	50	200	10 000
Поверхности помещений постоянного пребывания персонала и находящегося в них оборудования	5	20	2000
Поверхности помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования	50	200	10 000

6.2.5. Электрический ток

Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний и своеобразный характер. Проходя через организм человека, электроток производит термическое, электролитическое, механическое и биологическое действия.

Термическое действие тока проявляется ожогами отдельных участков тела, нагревом до высокой температуры органов, расположенных на пути тока, вызывая в них значительные функциональные расстройства. Электролитическое действие тока выражается в разложении органической жидкости, в том числе крови, в нарушении ее физико-химического состава. Механическое действие тока приводит к расслоению, разрыву тканей организма в результате электродинамического эффекта, а также мгновенного взрывоподобного образования пара из тканевой жидкости и крови. Биологическое действие тока проявляется раздражением и возбуждением живых тканей организма, а также нарушением внутренних биологических процессов.

Электротравмы условно разделяют на общие и местные. К общим относят электрический удар, при котором процесс возбуждения различных групп мышц может привести к судорогам, остановке дыхания и сердечной деятельности. Остановка сердца связана с фибрилляцией — хаотическим сокращением отдельных волокон сердечной мышцы (фибрилл). К местным травмам относят ожоги, металлизацию кожи, механические повреждения, электроофтальмии. Металлизация кожи связана с проникновением в нее мельчайших частиц метал-

ла при его расплавлении под влиянием чаще всего электрической дуги.

Исход поражения человека электротоком зависит от многих факторов: силы тока и времени его прохождения через организм, характеристики тока (переменный или постоянный), пути тока в теле человека, при переменном токе — от частоты колебаний.

Ток, проходящий через организм, зависит от напряжения прикосновения, под которым оказался пострадавший, и суммарного электрического сопротивления, в которое входит сопротивление тела человека. Величина последнего определяется в основном сопротивлением рогового слоя кожи, составляющим при сухой коже и отсутствии повреждений сотни тысяч ом. Если эти условия состояния кожи не выполняются, то ее сопротивление падает до 1 кОм. При высоком напряжении и значительном времени протекания тока через тело сопротивление кожи падает еще больше, что приводит к более тяжелым последствиям поражения током. Внутреннее сопротивление тела человека не превышает нескольких сотен ом и существенной роли не играет.

На сопротивление организма воздействию электрического тока оказывает влияние физическое и психическое состояние человека. Нездоровье, утомление, голод, опьянение, эмоциональное возбуждение приводят к снижению сопротивления. Характер воздействия тока на человека в зависимости от силы и вида тока приведен в табл. 6.16.

Таблица 6.16. **Характер воздействия тока на человека (путь тока рука — нога, напряжение 220 В)**

Ток, мА	Переменный ток, 50 Гц	Постоянный ток
0,6...1,5	Начало ощущения, легкое дрожание пальцев	Ощущений нет
2,0...2,5	Начало болевых ощущений	То же
5,0...7,0	Начало судорог в руках	Зуд, ощущение нагрева
8,0...10,0	Судороги в руках, трудно, но можно оторваться от электродов	Усиление ощущения нагрева
20,0...25,0	Сильные судороги и боли, неотпускающий ток, дыхание затруднено	Судороги рук, затруднение дыхания
50,0...80,0	Паралич дыхания	То же
90,0...100,0	Фибрилляция сердца при действии тока в течение 2 — 3 с, паралич дыхания	Паралич дыхания при длительном протекании тока
300,0	То же, за меньшее время	Фибрилляция сердца через 2 — 3 с, паралич дыхания

Т а б л и ц а 6.17. **Предельно допустимые уровни напряжения и тока**

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые уровни, не более, при продолжительности воздействия тока $I_в$, с											
		0,01...0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св. 1,0
Переменный, 50 Гц	$U_в$, В	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	36
	$I_а$, мА												6
Переменный, 400 Гц	$U_а$, В	650	500	500	330	250	200	170	140	100	110	100	36
	$I_а$, мА												8
Постоянный	$U_в$, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	$I_а$, мА												15
Выпрямленный двухполупериодичный	$U_в$, В	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	—
Выпрямленный однополупериодичный	$U_в$, В	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	—

Допустимым считается ток, при котором человек может самостоятельно освободиться от электрической цепи. Его величина зависит от скорости прохождения тока через тело человека: при длительности действия более 10 с — 2 мА, при 10 с и менее — 6 мА. Ток, при котором пострадавший не может самостоятельно оторваться от токоведущих частей, называется неотпускающим.

Переменный ток опаснее постоянного, однако при высоком напряжении (более 500 В) опаснее постоянный ток. Из возможных путей протекания тока через тело человека (голова — рука, голова — ноги, рука — рука, нога — рука, нога — нога и т. д.) наиболее опасен тот, при котором поражается головной мозг (голова — руки, голова — ноги), сердце и легкие (руки — ноги). Неблагоприятный микроклимат (повышенная температура, влажность) увеличивает опасность поражения током, так как влага (пот) понижает сопротивление кожных покровов.

При *гигиеническом нормировании* ГОСТ 12.1.038—82* устанавливает предельно допустимые напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека (рука — рука, рука — нога) при аварийном режиме работы электроустановок производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц (табл. 6.17).

6.2.6. Сочетанное действие вредных факторов

В условиях среды обитания, особенно в производственных условиях, человек подвергается, как правило, многофакторному воздействию, эффект которого может оказаться более значительным, чем при изолированном действии того или иного фактора.

Установлено, что токсичность ядов в определенном температурном диапазоне является наименьшей, усиливаясь как при повышении, так и понижении температуры воздуха. Главной причиной этого является изменение функционального состояния организма: нарушение терморегуляции, потеря воды при усиленном потоотделении, изменение обмена веществ и ускорение биохимических процессов. Учащение дыхания и усиление кровообращения приводят к увеличению поступления яда в организм через органы дыхания. Расширение сосудов кожи и слизистых повышает скорость всасывания токсических веществ через кожу и дыхательные пути. Усиление токсического действия при повышенных температурах воздуха отмечено в отношении многих летучих ядов: паров бензина, паров ртути, оксидов азота и

др. Низкие температуры повышают токсичность бензола, сероуглерода и др.

Повышенная влажность воздуха увеличивает опасность отравлений особенно раздражающими газами. Причиной этого служит усиление процессов гидролиза, повышение задержки ядов на поверхности слизистых оболочек, изменение агрегатного состояния ядов. Растворение ядов с образованием слабых растворов кислот и щелочей усиливает их раздражающее действие.

Изменение атмосферного давления также влияет на токсический эффект. При повышенном давлении усиление токсического эффекта происходит вследствие двух причин: во-первых, наибольшего поступления ядов вследствие роста парциального давления газов и паров в атмосферном воздухе и ускоренного перехода их в кровь, во-вторых, за счет изменения функций дыхания, кровообращения, ЦНС и анализаторов. Пониженное атмосферное давление усиливает воздействие таких ядов, как бензол, алкоголь, оксиды азота, ослабляется токсическое действие озона.

Из множества сочетаний неблагоприятных факторов наиболее часто встречаются пылегазовые композиции. Газы адсорбируются на поверхности частиц и захватываются внутрь их скоплений. При этом локальная концентрация адсорбированных газов может превышать их концентрацию непосредственно в газовой фазе. Токсичность аэрозолей в значительной мере зависит от адсорбированных или содержащихся в них газов. Токсичность газоаэрозольных композиций подчиняется следующему правилу: если аэрозоль проникает в дыхательные пути глубже, чем другой компонент смеси, то отмечается усиление токсичности. Токсичность смесий зависит не только от глубины проникновения в легкие, но и от скорости адсорбции и, главное, десорбции яда с поверхности частиц. Десорбция происходит в дыхательных путях и альвеолах и ее активность связана с физико-химическими свойствами поверхности аэрозолей и свойствами газов. Адсорбция тем выше, чем меньше молекула газа. При значительной связи газа с аэрозолем (капиллярная конденсация, хемосорбция) комбинированный эффект обычно ослабляется.

Рассматривая сочетанное действие неблагоприятных факторов физической и химической природы, следует отметить, что на высоких уровнях воздействия наблюдаются потенцирование, антагонизм и независимый эффект. На низких уровнях, как правило, наблюдаются аддитивные зависимости. Известно усиление эффекта токсического действия свинца и ртути, бензола и вибрации, карбофоса и

ультрафиолетового излучения, шума и марганецсодержащих аэрозолей.

Шум и вибрация всегда усиливают токсический эффект промышленных ядов. Причиной этого является изменение функционального состояния ЦНС и сердечно-сосудистой системы. Шум усиливает токсический эффект оксида углерода, стирола, крекинг-газа и др. Вибрация, изменяя реактивность организма, повышает его чувствительность к другим факторам, например кобальту, кремниевым пылям, дихлорэтану; оксид углерода более токсичен в сочетании с вибрацией.

Ультрафиолетовое излучение, оказывая влияние на взаимодействие газов в атмосферном воздухе, способствует образованию смога. При ультрафиолетовом облучении возможна сенсибилизация организма к действию некоторых ядов, например развитие фотодерматита при загрязнении кожи песковой пылью. Вместе с тем ультрафиолетовое облучение может понижать чувствительность организма к некоторым вредным веществам вследствие усиления окислительных процессов в организме и более быстрого обезвреживания яда. Так, токсичность оксида углерода при ультрафиолетовом облучении снижается благодаря ускоренной диссоциации карбоксигемоглобина и более быстрого выведения яда из организма.

Большое практическое значение имеет проблема комбинированного влияния ионизирующего излучения и химического фактора. Особенно злободневны два аспекта этой проблемы: первый — уменьшение разрушающего действия радиации путем одновременного воздействия вредного вещества, используя явление антагонизма. Например, установлено, что острое воздействие ядов, вызывающее в организме гипоксию (снижение кислорода в тканях) и одновременное и последовательное действие ионизирующей радиации, сопровождается ослаблением тяжести радиационного поражения, т. е. способствует большей радиоустойчивости организма. Такой эффект замечен для оксида углерода, анилина, цианидов, а также веществ, относящихся к классу индолилалкиламинов, производных триптофана (серотонин, мексамин). К другой группе веществ, снижающих радиочувствительность биологических тканей, относятся меркаптоалкиламины. Защитное действие гипоксии и некоторых веществ наиболее выражено при воздействии гамма- и рентгеновского излучения, при нейтронном облучении, при облучении тяжелыми ядрами.

Второй аспект — усиление эффекта действия вследствие синергизма радиационного воздействия и теплоты, радиации и кислорода.

к числу радиосенсибилизирующих относятся ртуть и ее соединения, формальдегид, вещества, относящиеся к сульфгидрильным ядам.

Тяжелый физический труд сопровождается повышенной вентиляцией легких и усилением скорости кровотока, что приводит к увеличению количества яда, поступающего в организм. Кроме того, интенсивная физическая нагрузка может приводить к истощению механизмов адаптации с последующим развитием профессионально-обусловленных заболеваний.

В течение всей своей профессиональной жизни человек подвергается воздействию целого комплекса факторов производственной и окружающей среды, среди которых одно из ведущих мест занимают так называемые физические факторы: шум, вибрация, неионизирующие электромагнитные излучения (ЭМИ), микроклимат и др. При определенных условиях каждый из них, а также их разнообразные комбинации могут приводить к существенному напряжению адаптационных возможностей организма человека, а в дальнейшем и к срыву адаптации. Стрессирующее воздействие данных факторов определяется как их физическими характеристиками (дозовая нагрузка), так и функциональным состоянием ведущих систем организма, его индивидуальной чувствительностью к раздражителю.

В качестве примера комплексного подхода можно привести результаты исследований условий труда и состояния здоровья специалистов, осуществляющих эксплуатацию средств радиолокации, радионавигации и связи.

В процессе осуществления своей трудовой деятельности эти лица подвергаются воздействию целого комплекса факторов производственной среды и трудового процесса. Ведущими среди физических факторов являются ЭМИ широкого диапазона частот, а также шум и для ряда подразделений — вибрация. Кроме того, для персонала, обслуживающего системы локации, навигации и связи, важную роль играют микроклиматические параметры, так как часть работ проводится не в помещении, а на открытых территориях. Высокая личная ответственность за обеспечение безопасности полетов является дополнительным важным стрессирующим фактором.

В соответствии с требованиями Руководства Р-2.2.755—99 «Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса» условия труда персонала, обслуживающего радиотехнические устройства обзорных радиолокаторов, систем ближней навигации, радиотехнических объек-

тов службы посадки по комплексу оцененных факторов, могут в большинстве случаев классифицироваться как вредные —3.3.

Данные клинико-физиологического исследования свидетельствуют о риске развития неблагоприятных изменений сердечно-сосудистой, нервной, гематологической и иммунной систем у специалистов, осуществляющих эксплуатацию средств локации, навигации и связи.

Данные социально-гигиенического исследования также позволили констатировать у них высокие уровни распространенности заболеваний сосудистой системы, в том числе гипертонической болезни и ишемической болезни сердца и формирование их в более молодом возрасте по сравнению с авиадиспетчерами, высокая степень напряженности труда которых доказана многочисленными исследованиями.

Другим примером сочетанного действия вредных факторов на человека может служить работа с компьютером.

Сегодня число пользователей компьютерами составляет в России около 30 млн человек. Не следует забывать, что далеко не все компьютеры отвечают санитарно-гигиеническим требованиям, пользователи в процессе работы в этих случаях подвергаются комплексному воздействию вредных факторов.

Исследования показали, что неблагоприятные изменения функционального состояния пользователей персональных компьютеров определяются сочетанием рядом факторов — уровнями генерируемых электромагнитных полей, параметрами освещенности, микроклиматом в помещении, состоянием здоровья, возрастом, интенсивностью и длительностью работы с компьютером. Однако решающее значение имеет характер и интенсивность воздействия электромагнитного излучения на пользователя.

Выполнение большого количества локальных движений с участием мышц кистей рук, предплечья приводит к мышечному утомлению этой группы мышц и болезням периферических нервов мышц, сухожилий. Статическое напряжение мышц шеи приводит к снижению интенсивности кровообращения не только в этой области, но и головного мозга, следствием чего являются головные боли. Работа за компьютером детей и подростков, связанная с вынужденными рабочими позами, способствует развитию дефектов позвоночника, сколиозов, сутулости.

Источником электромагнитного поля является дисплей, процессор, клавиатура. Вокруг компьютера образуется электромагнитное поле с диапазоном частот от 5 до 400 кГц.

Электромагнитные поля влияют на минеральный обмен, вызывая дисбаланс микроэлементов Ca, Al, Fe, P.

При длительной работе на компьютере отмечается снижение работоспособности и головная боль.

Работа с компьютером сопряжена с нагрузкой на зрительный анализатор, что может быть причиной повышенной утомляемости глаз, ухудшения зрения и нарушения коррекции, конъюнктивитов.

В помещениях, где работают компьютеры, при низких значениях влажности велика опасность накопления в воздухе микрочастиц с высоким электростатическим зарядом, способных адсорбировать частицы пыли и поэтому обладающих аллергизирующими свойствами.

В воздухе рабочей зоны концентрация углекислого газа может превышать ПДК, есть случаи регистрации повышенных концентраций озона.

Режим работы для различных возрастных групп в зависимости от ее характера регламентирован «Гигиеническими требованиями к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы СанПиН 2.2.2/2.4.1340—03».

Ниже приведены нормативные параметры, характерные для работы в компьютерном зале математиков, программистов, операторов.

Площадь помещения на одного работника составляет не менее 6 $м^2$, соответственно объем помещения не менее $20 \div 24$ $м^3$ на одного человека, высота — 4 м.

Микроклимат должен иметь оптимальные нормы.

В холодный период года

$$t = 22 \div 24°C;\ v = 0{,}1\ м/с;\ \varphi = 60 \div 40\ \%.$$

В теплый период года

$$t = 23 \div 25°C;\ v = 0{,}2\ м/с;\ \varphi = 60 \div 40\ \%,$$

где t — температура воздуха; φ — относительная влажность; v — скорость движения воздуха.

Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений следующие:

Напряженность электромагнитного поля

на расстоянии 50 см вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более:

в диапазоне частот 5 — 2 кГц . . . . 25 В/м

в диапазоне частот 2 — 400 кГц . . . . 2,5 В/м

Плотность магнитного потока должна быть не более:

в диапазоне частот 5 — 2 кГц . . . . 250 нТл

в диапазоне частот 2 — 400 кГц . . . . 25 нТл

Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500 В

Статическое электричество

Допустимые уровни напряженности электрического поля 15 кВ. Мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана и корпуса видеотерминала (на электронно-лучевой трубке) не должна превышать $1\frac{\text{мк Зв}}{\text{ч}} = 100\frac{\text{мкР}}{\text{ч}}$.

Аэроионизация

Оптимальный уровень аэроионизации в зоне дыхания оператора ЭВМ: число положительных ионов 1500—3000, число отрицательных ионов 3000—5000 в 1 см^3 воздуха.

Шум. Уровни звука и эквивалентные уровни звука не должны превышать:

50 дБА — для математиков, программистов и операторов ВДТ;

60 дБА — для сотрудников ИТР, осуществляющих лабораторный, аналитический и измерительный контроль;

65 дБА — для операторов ЭВМ без дисплеев;

75 дБА — для работающих в помещениях с шумными агрегатами ЭВМ.

Указанные уровни следует снижать на 5 дБА при выполнении напряженной работы в течение более 8 ч.

Освещение. Ориентация светопроемов для помещений с ЭВМ и ВДТ должна быть северо-восточной или северной, с КЕО 1,5 ÷ 1,0 %.

В качестве источников искусственного освещения должны использоваться люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) ДРЛ. Освещенность в горизонтальной плоскости должно быть не ниже 300 лк для системы общего освещения и не ниже 750 лк для системы комбинированного освещения; на монтажных столах инженеров-электронщиков по ремонту и отладке

блоков —1000 лк; при одновременной работе с документацией и видеотерминалом горизонтальная освещенность —500 лк. Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственном помещении не более 20. Коэффициент пульсации не должен превышать 5 %.

Требования к видеотерминалу. Яркость экрана не менее 100 кд/м^2. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк. Яркость бликов на экране — не более 40 кд/м^2. Размер светящейся точки — не более 0,4 мм для монохромного дисплея и не более 0,56— для цветного. Контраст изображения знака — не менее 0,8.

Режим работы. Продолжительность работы с ВДТ при вводе данных, редактировании программ; чтении информации с экрана не должна превышать 4 ч при 8-часовом рабочем дне. Через каждый час работы — перерыв на $5 \div 10$ мин, а через 2 ч — на 15 мин.

При пребывании человека в техносфере к общему негативному воздействию загрязненного атмосферного воздуха и водоемов, как правило, добавляется и воздействие кислотных осадков и фотохимического смога (фотооксидантов).

Различают прямое и косвенное воздействие кислотных осадков на человека. Прямое воздействие обычно не представляет опасности, так как концентрация кислот в атмосферном воздухе не превышает 0,1 мг/м^3, т. е. находится на уровне ПДК ($ПДК_{сс} = 0{,}1$ и $ПДК_{мр} = 0{,}3$ мг/м^3 для H_2SO_4). Такие концентрации нежелательны для детей и астматиков.

Прямое воздействие опасно для металлоконструкций (коррозия со скоростью до 10 мкм/год), зданий, памятников и т. д. особенно из песчаника и известняка в связи с разрушением карбоната кальция.

Наибольшую опасность кислотные осадки представляют при попадании в водоемы и почву, что приводит к уменьшению pH воды (pH = 7— нейтральная среда). От значения pH воды зависит растворимость алюминия и тяжелых металлов в ней и, следовательно, их накопление в корнеплодах, а затем и в организме человека. При изменении pH воды меняется структура почвы и снижается ее плодородие. Снижение pH питьевой воды способствует поступлению в организм человека указанных выше металлов и их соединений.

Характерное воздействие фотохимических оксидантов на человека и растительность показано в табл. 6.18.

Оценивая сочетанное влияние неблагоприятных факторов на организм, следует иметь в виду, что, как правило, ранние изменения в организме неспецифичны для действия какого-либо из них и отража-

ют лишь срыв приспособительных реакций. При продолжающемся воздействии сверхдозовых уровней растет частота профессионально-обусловленных общих заболеваний или формируются различные формы профессиональных заболеваний.

Таблица 6.18. **Воздействие фотохимических оксидантов на человека и растительность**

Концентрация оксидантов, мкг/м^3	Экспозиция, ч	Эффект воздействия
100	4	Повреждение растительности
200	—	Раздражение глаз
250	24	Обострение респираторных заболеваний
600	1	Ухудшение спортивных показателей

К профессиональным заболеваниям, вызываемым воздействием физических факторов, относятся: вегетативно-сосудистая дистония, астенический, астеновегетативный, гипоталамический синдромы (связаны с воздействием неионизирующих излучений), вибрационная болезнь, кохлеарный неврит (при систематическом воздействии производственного шума), электроофтальмия, катаракта и др.

Достаточно часто встречаются профессиональные заболевания, связанные с физическими перегрузками и перенапряжением отдельных органов и систем, например писчий спазм у машинисток, чертежников, стенографисток, заболевания периферической нервной системы и опорно-двигательного аппарата — у доярок ручной дойки, кузнецов и обрубщиков, лесозаготовителей, маляров.

6.2.7. Оценка влияния вредных факторов на здоровье человека

Воздействие вредных факторов на здоровье человека в зонах его пребывания определяется совокупностью и уровнями вредных факторов, а также длительностью нахождения человека в этих зонах.

Совокупность вредных факторов производственной среды рассмотрена в Р 2.2.2006—05 [13]. Это руководство определяет связь между совокупностью вредных производственных факторов и классами условий труда (табл. 6.19), а в работе [14] введена шкала оценки ущерба здоровью работающих в виде сокращения продолжительности жизни в сутках за год в зависимости от класса условий труда (табл. 6.20).

Таблица 6.19. **Классы условий труда в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ (превышение ПДК, раз)**

Вредные вещества*	Класс условий труда				
	допустимый	вредный			
	2	3.1	3.2	3.3	3.4
Вредные вещества 1—4-го классов опасности[1], за исключением перечисленных ниже	$\le ПДК_{макс}$	1,1—3,0	3,1—10,0	10,1—15,0	15,1—20,0
	$\le ПДК_{сс}$	1,1—3,0	3,1—10,0	10,1—15,0	> 15,0
Особенности действия на организм					
Вещества, опасные для развития острого отравления:					
с остронаправленным механизмом действия[2], хлор, аммиак	$\le ПДК_{макс}$	1,1—2,0	2,1—4,0	4,1—6,0	6,1—10,0
раздражающего действия[2]	$\le ПДК_{макс}$	1,0—2,0	2,1—5,0	5,1—10,0	10,1—50,0
Канцерогены[3]; вещества, опасные для репродуктивного здоровья человека[4]	$\le ПДК_{сс}$	1,1—2,0	2,1—4,0	4,1—10,0	> 10,0
Аллергены:					
высокоопасные	$\le ПДК_{макс}$	—	1,1—3,0	3,1—15,0	15,1—20,0
умеренноопасные	$\le ПДК_{макс}$	1,1—2,0	2,1—5,0	5,1—15,0	> 20,0

[1] В соответствии с ГН 2.2.5.1313—03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

[2] В соответствии с ГН 2.2.5.1313—03, ГН 2.2.5.1314—03 «Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

[3] В соответствии с ГН 1.1.725—98 «Перечень веществ, продуктов, производственных процессов, бытовых и природных факторов, канцерогенных для человека» и разд. 1, 2, прил. 3 настоящего руководства (Асбестсодержащие пыли сравнивают согласно табл. 3 руководства).

[4] В соответствии с СанПиН 2.2.0.555—96 «Гигиенические требования к условиям труда женщин» и Методическими рекомендациями № 11-8/240—02 «Гигиеническая оценка вредных производственных факторов и производственных процессов, опасных для репродуктивного здоровья человека».

Классы условий труда в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД), пылей, содержащих природные и искусственные волокна, и пылевых нагрузок на органы дыхания (кратность превышения ПДК)

Аэрозоли	Класс условий труда				
	допустимый	вредный			
	2	3.1	3.2	3.3	3.4
Высоко- и умеренно-фиброгенные АПФД; пыли, содержащие природные (асбесты, цеолиты) и искусственные (стеклянные, керамические, углеродные и др.) минеральные волокна	≤ ПДК	1,1—2,0	2,1—4,0	4,1—10,0	> 10,0
Слабофиброгенные АПФД	≤ ПДК	1,1—3,0	3,1—6,0	6,1—10,0	> 10,0

Классы условий труда в зависимости от уровней шума, локальной и общей вибрации, инфра- и ультразвука на рабочем месте

Название фактора, показатель, единица измерения	Класс условий труда				
	допустимый	вредный			
	2	3.1	3.2	3.3	3.4
	Превышение ПДУ, раз				
Шум, эквивалентный уровень звука, дБА	≤ ПДУ[1]	5	15	25	35
Вибрация локальная, эквивалентный корректированный уровень (значение) виброскорости, виброускорения, дБ/раз	≤ ПДУ[2]	3/1,4	6/2	9/2,8	12/4
Вибрация общая, эквивалентный корректированный уровень виброскорости, виброускорения, дБ/раз	≤ ПДУ[2]	6/2	12/4	18/6	24/8
Инфразвук, общий уровень звукового давления, дБ/Лин	≤ ПДУ[3]	5	10	15	20
Ультразвук воздушный, уровни звукового давления в $^1/_3$ октавных полосах частот, дБ	≤ ПДУ[4]	10	20	30	40
Ультразвук контактный, уровень виброскорости, дБ	≤ ПДУ[4]	5	10	15	20

---

[1]В соответствии с Санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562—96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

[2]В соответствии с Санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.566—96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

[3]В соответствии с Санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.583—96 «Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки».

[4]В соответствии с Санитарными правилами и нормами СанПиН 2.2.4/2.1.8.582—96 «Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения».

Таблица 6.20. **Шкала оценки ущерба здоровью в зависимости от класса вредности условий труда**

Класс вредности условий труда	Время сокращения продолжительности жизни, сут/год	
	Диапазон	Среднее значение
3.1	2,5 — 5,0	3,75
3.2	5,1 — 12,5	8,75
3.3	12,6 — 25,0	18,75
3.4	25,1 — 75,0	50,0

В работе [14] также предложена шкала оценки ущерба здоровью с учетом влияния возможных сочетаний вредных факторов и их уровней, тяжести и напряженности трудового процесса на здоровье работающих.

Методика количественной оценки ущерба здоровью при работе в неблагоприятных условиях труда включает следующие этапы:

— проводится оценка условий труда на рабочем месте в соответствии с Р 2.2.2006—05 и устанавливается класс вредности условий труда (табл. 6.19);

— оценивается ущерб здоровью в виде сокращения продолжительности жизни от класса условий труда по табл. 6.20 и 6.21;

Таблица 6.21. **Определение ущерба здоровью на основании общей оценки условий труда**

Фактические условия труда	Класс условий труда	Ущерб, сут/год
1. 1 фактор класса 3.1	3.1	2,5
2. 2 фактора класса 3.1	3.1	3,75
3. 3 и более факторов класса 3.1	3.2	5,1
4. 1 фактор класса 3.2	3.2	8,75
5. 2 и более факторов класса 3.2	3.3	12,6
6. 1 фактор класса 3.3	3.3	18,75
7. 2 и более факторов класса 3.3	3.4	25,1
8. 1 фактор класса 3.4	3.4	50,0
9. 2 и более факторов класса 3.4	4	75,1

Таблица 6.22. **Определение ущерба здоровью по показателю тяжести трудового процесса**

Фактические условия труда	Класс условий труда	Ущерб, сут/год
1. Менее 3 факторов класса 2	2	—
2. 3 и более факторов класса 2	3.1	2,5
3. 1 фактор класса 3.1	3.1	3,75
4. 2 и более факторов класса 3.1	3.2	5,1
4. 1 фактор класса 3.2	3.2	8,75
6. 2 фактора класса 3.2	3.3	12,6
7. Более 2 факторов класса 3.2	3.3	18,75

— при оценке ущерба здоровью только по показателю тяжести трудового процесса используют данные табл. 6.22;

— при оценке ущерба здоровью только по показателю напряженности трудового процесса величину ущерба принимают по данным табл. 6.20, указанным в графе «среднее значение».

Следует отметить, что оценка влияния вредных факторов на здоровье человека по методике Р 2.2.2006—05 учитывает только вредные производственные факторы и не распространяется на другие стадии суточного жизненного цикла человека.

Характерное состояние вредных факторов в условиях города и его селитебных зон указывает на их высокую значимость. Учет влияния вредных факторов городской, транспортной, бытовой и иной сред на здоровье людей обычно проводится по укрупненным показателям.

При суточной миграции человека во вредных условиях жизненного пространства суммарная оценка ущерба здоровью человека при аддитивном подходе может быть определена приближенно по формуле

$$СПЖ_{\Sigma} = СПЖ_{пр} + СПЖ_{г} + СПЖ_{б},$$

где $СПЖ_{пр}$, $СПЖ_{г}$, $СПЖ_{б}$ — сокращение продолжительности жизни при пребывании соответственно в условиях производства, города и быта, сут/год; в расчетах значения $СПЖ_{пр}$ находятся по методике, рассмотренной выше, а значения $СПЖ_{г}$ и $СПЖ_{б}$ можно приближенно определять по совокупности вредных факторов и их уровням, пользуясь рекомендациями Р 2.2.755—99 или их оценкой по укрупненным показателям. Например, для сотрудника предприятия, работающего в условиях класса 3.3 при двух факторах негативного воздействия, проживающего в городе с загрязненной атмосферой и выкуривающего до 20 сигарет в день, суммарное снижение продолжительности жизни к возрасту 45 лет составляет 3150 сут, т. е. 8,6 года,

поскольку $СПЖ_{пр} = 25{,}1(45 - 18) = 675$ сут, $СПЖ_{т} = (350/70)45 = 224$ сут, $СПЖ_{б} = 2250$ сут.

Использование расчетных значений показателя СПЖ позволяет прогнозировать продолжительность жизни людей в зависимости от условий труда, состояния городской среды в месте проживания и от поведения человека в быту. Действительно, если рассмотренный выше сотрудник работал бы в комфортных условиях, жил бы в незагрязненном атмосферном воздухе и не курил бы, то он прожил бы 45 лет, а не 36,4 года.

Уровни вредных воздействий, реально возможные в условиях производства, не ограничиваются значениями, соответствующими классу 3.4. При более высоких значениях уровней вредных факторов их воздействие может стать травмирующим. Пороговые значения таких уровней вредных факторов приведены в Р 2.2.2006—05 и составляют:

Вредные факторы	**Значения уровня**
Вредные вещества 1—2-го классов опасности	> 20 ПДК
Вредные вещества, опасные для развития острого отравления	> 10 ПДК
Шум, дБА	Превышение ПДУ > 35
Вибрация локальная, дБ	Превышение ПДУ > 12/4
Вибрация общая, дБ	Превышение ПДУ > 24/8
Инфразвук, общий уровень звукового давления, дБ/Лин	> 20
Ультразвук воздушный, уровни звукового давления в $^1/_3$ октавных полосах частот, дБ	> 40
Ультразвук контактный, уровень виброскорости, дБ	>20
Тепловое облучение, $Вт/м^2$	> 2800
Электрические поля промышленной частоты	> 40 ПДУ
Лазерное излучение	> 10^3 ПДУ при однократном воздействии

Следует отметить, что работа в условиях 4-го класса не допускается, за исключением ликвидации аварий и проведения экстренных работ для предупреждения аварийных ситуаций. При этом работы должны проводиться с применением средств индивидуальной защиты и при строгом соблюдении режимов проведения таких работ.

Контрольные вопросы к главе 6

1. На какие группы подразделяют рецепторы по природе раздражителя?
2. Какие естественные системы защиты действуют в организме человека?
3. Как формулируется закон Вебера — Фехнера?
4. Какие классификации вредных веществ существуют?
5. Какие основные параметры токсикометрии характеризуют вредные вещества?
6. Как нормируются вредные вещества в различных средах (в воздухе рабочей зоны, в атмосфере, воде, почве)?
7. Какие факторы влияют на исход развития отравления?
8. Как действует вибрация на человека и как нормируются вибрации?
9. Назовите особенности воздействия акустических колебаний на человека.
10. Какие эффекты вызывает воздействие ионизирующих излучений на человека?
11. Как проявляется сочетанное действие вредных факторов при работе на компьютере?
12. Что учитывают при определении СПЖ человека, работающего на заводе и проживающего в пригороде?

Раздел IV

ЗАЩИТА ОТ ОПАСНОСТЕЙ В ТЕХНОСФЕРЕ

Глава 7

ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ БЕЗОПАСНОГО ЖИЗНЕННОГО ПРОСТРАНСТВА

Одна из аксиом БЖД гласит: «Защита человека от опасностей технически достижима за счет снижения потоков от их источника, уменьшения времени воздействия источника и объекта, увеличения расстояния между ними и применения защитных мер». На ее основе можно сформулировать основные этапы научной деятельности и практических решений в области обеспечения БЖД человека в техносфере.

I этап. *Идентификация опасностей источников,* действующих в изучаемом жизненном пространстве. Этот этап включает прежде всего выявление и описание всех потоков вещества, энергии и информации от отдельных источников и их совокупности в конкретном жизненном пространстве техносферы (рабочее место, территория города, жилая среда, зона эксплуатации или салон транспортного средства и т. п.).

При идентификации должны учитываться все виды источников опасности (естественные, техногенные и антропогенные) как при их индивидуальном проявлении, так и во взаимосвязи. При этом следует исходить из принципа *«все воздействует на все»*. Иными словами, следует понимать и всегда помнить, что источником опасности может быть любой поток, взаимодействующий с объектом защиты и превышающий допустимые значения.

При идентификации опасностей необходимо учитывать опыт создания подобных жизненных зон и достигнутый уровень травмоопасности и вредности в них.

По результатам идентификации опасностей в конкретном жизненном пространстве в случае, когда опасности существуют, формируются требования к источникам по устранению этих опасностей. При этом органами экспертизы и специалистами по БЖД для источ-

ников опасности определяются предельно допустимые выбросы (ПДВ) загрязнений в атмосферу, предельно допустимые сбросы (ПДС) в водоемы и т. д. Величины ПДВ, ПДС и других предельно допустимых воздействий зависят от состояния и назначения конкретного техносферного пространства.

II этап. *Определение опасных зон жизненного пространства.* Идентификация опасностей не ограничивается определением номенклатуры и величины потоков, излучаемых источниками. Важным этапом исследования является расчет зон действия этих потоков. Пространственное сопоставление зон действия потоков от источника и зон пребывания работающих или населения позволяет определить *опасные зоны* как в пространстве, так и во времени. Выявленные опасные зоны должны быть устранены в проектных решениях полностью или минимизированы на следующих этапах решения задач БЖД.

Возможные варианты зонирования городских территорий при их загрязнении токсичными веществами, шумами и вибрациями показаны на рис. 7.1 и 7.2, а при воздействии опасных объектов — на рис. 1.7.

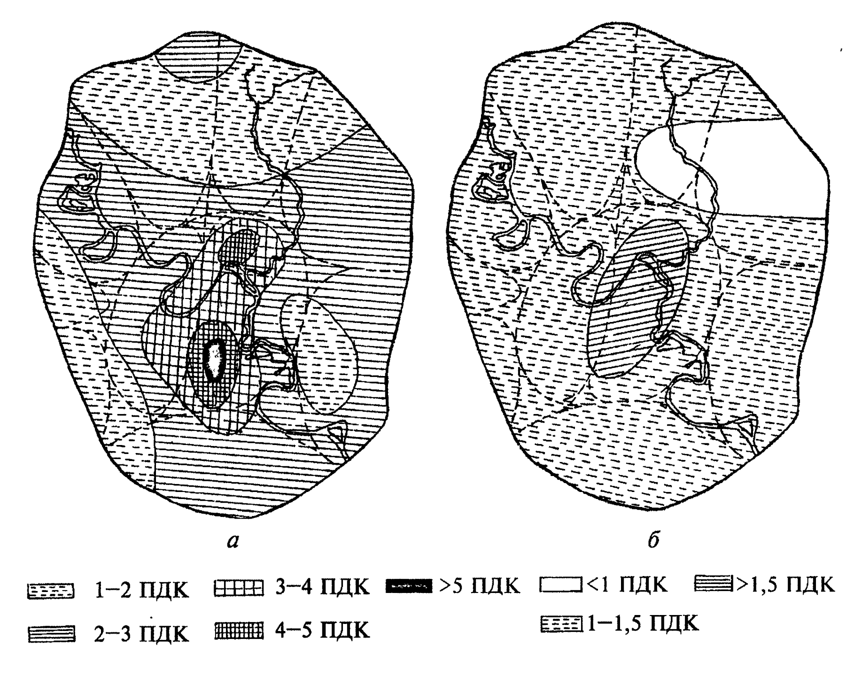


Рис. 7.1. Распределение концентраций диоксида азота (*а*) и оксида углерода (*б*) в долях ПДК

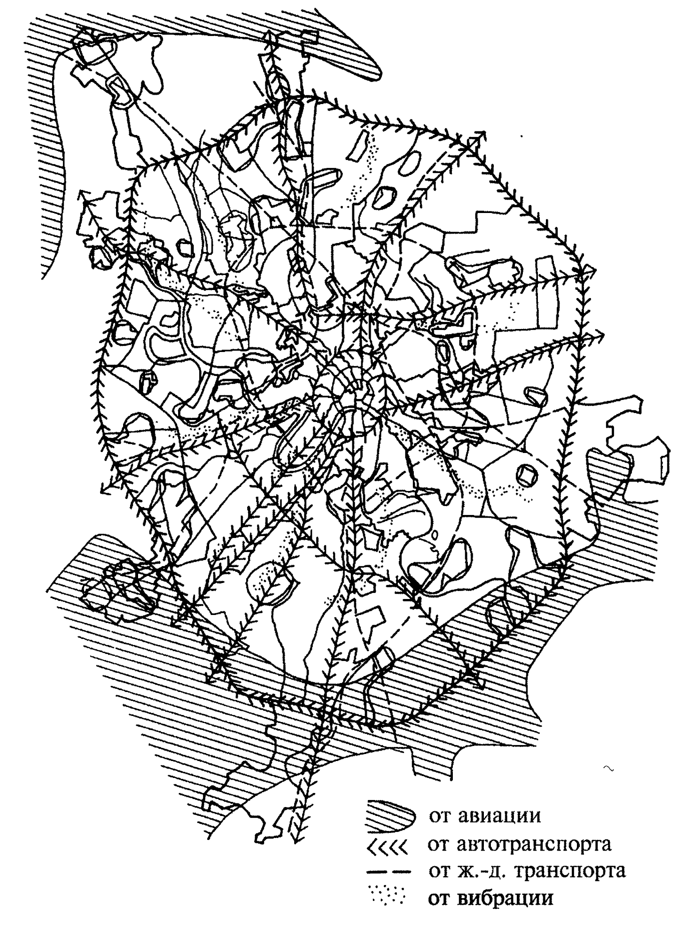


Рис. 7.2. Зоны распространения шума и вибрации

III этап. *Совершенствование источников опасностей по требованиям экспертизы состояния жизненного пространства техносферы.* Этот этап научно-практической деятельности сводится к реализации нормативных требований по допустимому уровню потоков, излучаемых источником опасности. Он проводится разработчиком технического устройства или объекта по требованиям, сформулированным специалистами в области обеспечения безопасности жизнедеятельности техногенного пространства, в котором будет применяться техническое устройство. На практике этот этап работ сводится к реализации разработчиком экспертных требований, сформулированных при

оценке опасности объекта для людей и оценке его вредного воздействия на окружающую среду (ОВОС).

Аналогичная работа проводится в области анализа техногенного риска. Считается, что достижение ситуации, когда суммарный техногенный риск эксплуатации технических систем и объектов в техногенном пространстве не превышает допустимых значений индивидуального допустимого риска, исключает техногенные опасности, связанные с авариями.

Завершается III этап исследований принятием государственными органами (Ростехнадзор России, Минприрода России) положительных заключений по безопасности и экологичности объекта (источника опасности).

IV этап. *Применение средств и мер защиты.* В тех случаях, когда невозможно выполнить нормативные требования по БЖД за счет усовершенствования источника опасности, а также, когда совокупное действие нескольких источников опасности превышает допустимое воздействие, необходимо применять средства и меры защиты (экобиозащитную технику) в зонах пребывания человека.

В период создания и реконструкции технологий и технических средств возможны следующие практически продуктивные решения по защите от опасностей:

— разделение источников опасности и жизненного пространства (например, рабочего места) человека за счет дистанционного управления источниками опасности или вывода источников опасности из селитебных зон и т. п.;

— разведение по времени процесса деятельности человека и периода эксплуатации источника опасности, например при ремонтных и наладочных работах;

— снижение опасных потоков, идущих от их источников к объекту защиты, экранированием — применением экобиозащитных средств. Экранировать можно как источник опасности, так и объект защиты. Кроме того, возможно применение экранов для уменьшения или изменения направления потоков на путях их распространения.

При вводе объектов экономики или технических средств в эксплуатацию необходимо руководствоваться следующим *правилом:*

«Экобиозащитную технику на промышленных и иных объектах техносферы необходимо вводить в эксплуатацию до или одновременно с началом реализации технологических процессов».

Только в случае своевременного ввода в эксплуатацию защитных мер гарантируется нормативный уровень защиты работающих и населения от техногенных и иных опасностей.

V этап. *Мониторинг опасностей и состояния зон пребывания человека.* В процессе эксплуатации технических систем и средств защиты от опасностей необходимо проводить постоянный (периодический) контроль состояния зон пребывания людей в техносферном пространстве на возможность появления в них опасностей различных видов. С этой целью жизненное пространство техносферы обеспечивается *системами мониторинга опасностей.* Эти системы применяют в производственных и городских зонах пребывания людей. В городах реализуется контроль за содержанием вредных веществ в атмосферном воздухе и в водоемах; в рабочих зонах контролируются вредные и травмоопасные факторы, осуществляется надзор за условиями труда на рабочих местах. На объектах экономики ведется контроль за выбросами и сбросами вредных веществ, а также учет количества и состава твердых промышленных отходов. Особый режим контроля установлен за высокотоксичными, радиоактивными и иными отходами повышенной опасности.

Анализ современного состояния проблемы обеспечения БЖД человека в техносфере показывает, что в недалеком прошлом основные научно-практические усилия были направлены на анализ травматизма и заболеваемости в производственной сфере; разработку и внедрение защитных мер в сфере производства; разработку законодательной и нормативно-правовой базы в обеспечении безопасности труда, охраны окружающей среды и защиты в ЧС; разработку мер по защите от производственных и бытовых отходов; экологическую экспертизу отдельных производств и градостроительных решений; создание условий комфорта.

Значительный вклад в их развитие внесли российские ученые и практики А.Н. Никитин, А.А. Скочинский, Ф.Ф. Эрисман, Н.Д. Зелинский, А.А. Летавет, В.А. Левицкий, П.И. Синев, П.А. Гладких, Б.М. Злобинский, Е.Я. Юдин, Н.Ф. Измеров, Н.Н. Моисеев, Н.Ф. Реймерс, П.А. Долин, С.В. Алексеев, Н.Д. Золотницкий и многие другие.

Контрольные вопросы к главе 7

1. Назовите этапы создания безопасного жизненного пространства.

2. Какие задачи решаются специалистами на этапе индентификации опасностей?

3. Какие практические решения приоритетны при реализации систем защиты от опасностей?

4. Назовите основное правило использования защитной техники на объектах экономики.

Глава 8
ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ОТ ОПАСНОСТЕЙ

Из предыдущего следует, что опасности, реализуемые в виде недопустимых для человека потоков вещества, энергии и информации, могут существенно снизить эффективность трудовой деятельности человека, ухудшить его здоровье или привести к летальному исходу. Для устранения этих нежелательных эффектов необходимо снижать уровень действующих на человека потоков как минимум до допустимых значений.

Защита от естественных и антропогенных опасностей необходима человеку постоянно и в любых условиях жизнедеятельности, а зашита от техногенных опасностей — лишь в условиях его взаимодействия с техническими системами. Комплекс средств защиты от естественных опасностей во многом определяется климатическими и погодными условиями в зоне пребывания человека, а также склонностью этой зоны возникновению стихийных явлений. Основу защитного комплекса от естественных опасностей составляют технические средства и организационные мероприятия.

Защита от антропогенных опасностей, в основе которых лежат ошибки людей, достигается совершенствованием их знания в области безопасности жизнедеятельности, профессиональной подготовкой операторов технических систем и их профотбором. Все население должно быть обучено основам БЖД, знать основы поведения в ЧС, уметь оказывать доврачебную медицинскую помощь, умело использовать СИЗ и другие защитные средства. Работающие должны пройти инструктаж по безопасности труда.

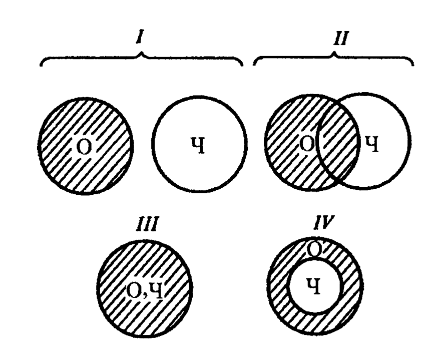
Состав систем защиты от опасностей, уровень их сложности и эффективности зависят от возможного взаимного расположения в пространстве зон опасности и зон пребывания человека. Известны четыре принципиальных варианта взаимного расположения зон опасности и зоны пребывания человека (рис. 8.1).

Для ситуации *I* характерно несовпадение в пространстве зон опасности и зоны пребывания человека. Такая ситуация характерна для условий полностью автоматизированного производства и для систем дистанционного управления технологическими процессами. Это безопасная ситуация.

Ситуация *II* характерна для условий проведения ремонтных и наладочных работ в автоматизированном производстве. Опасности действуют кратковременно и, как правило, в ограниченных зонах.

Рис. 8.1. Варианты взаимного положения зоны опасности (О) и зоны пребывания человека (Ч):

I — безопасная ситуация; *II* — ситуация кратковременной, или локальной, опасности; *III* — опасная ситуация; *IV* — условно безопасная ситуация



Ситуация *III* имеет наибольшее распространение. Она характерна для условий деятельности на производстве, в быту, салонах транспортных средств и т. п. В данной ситуации невысокий уровень опасностей, длительно действующих на человека: например, воздействие шума в салоне самолета или в вагоне метрополитена, воздействие паров, газов и пыли в помещении цеха и т. п.

Условно безопасная ситуация *IV* возникает или при работе человека с использованием изолирующих средств индивидуальной защиты, или в специально оборудованных кабинах и т. п. В этом случае безопасность человека полностью зависит от целостности средств защиты. Аналогичные условия деятельности соответствуют работе спасателей при ликвидации аварий.

Из сказанного следует, что реализация ситуаций *II—IV* всегда требует применения средств защиты от техногенных опасностей в системе «источник — опасности — человек».

Основные принципы организационно-технической защиты от техногенных опасностей сводятся к следующему:

— совершенствование источников опасности с целью максимального снижения значимости генерируемых ими опасностей. Это не только снижает уровень опасности, но и, как правило, сокращает размеры опасной зоны;

— применение защиты расстоянием с выведением человека из зоны действия опасностей;

— применение защитных средств (экобиозащитная техника) для изоляции зоны пребывания человека от негативных воздействий — в том числе и применение средств индивидуальной защиты человека от опасностей.

Совершенствование источников опасности с целью сокращения размеров опасных зон. При воздействии *вредных факторов* сокращение размеров зон должно достигаться прежде всего совершенствованием технических систем, приводящим к уменьшению выделяемых ими

отходов. Для ограничения вредного воздействия на человека и среду обитания к технической системе предъявляют требования по величине выделяемых в среду токсичных веществ в виде предельно допустимых выбросов, сбросов и отбросов (ПДВ, ПДС и ПДО), а также по величине энергетических загрязнений в виде предельно допустимых излучений в среду обитания. Значения ПДВ и ПДС определяют расчетом, исходя из значений ПДК в зонах пребывания человека.

Наличие связи между концентрацией примесей и массой, выделяемых источником загрязнения, позволяет реально управлять ситуацией, связанной с загрязнением жизненного пространства за счет изменения количества выбрасываемых веществ (энергии).

Предельно допустимые потоки вещества и предельно допустимые излучения энергии источниками загрязнения среды обитания являются *критериями экологичности* источника воздействия на среду обитания. Соблюдение этих критериев гарантирует безопасность жизненного пространства.

Уменьшение отходов любых систем при их эксплуатации — радикальный путь к снижению воздействия вредных факторов от источника опасностей.

Большие трудности в ограничении размеров опасных зон воздействия *травмирующих факторов* возникают при эксплуатации технических систем повышенной энергоемкости (хранилищ углеводородов, химических производств, АЭС и т. п.). При авариях на таких объектах травмоопасные зоны охватывают, как правило, не только производственные зоны, но и зоны пребывания населения. Основными направлениями в снижении травмоопасности таких объектов являются:

— совершенствование систем безопасности технических объектов;

— непрерывный контроль состояния источников опасности;

— достижение высокого профессионализма операторов технических систем.

Частота возникновения аварий в технических системах — их техногенный (технический) риск определяется показателями надежности технических систем, их склонностью к отказам. Характерные источники и причины возникновения технического риска приведены в табл. 8.1.

Важное значение в снижении аварийности технических систем имеет широкомасштабное использование предохранительных, ограничительных и иных средств защиты от аварий, а также обеспечение объектов средствами индивидуальной защиты, средствами эвакуации и т. п.

Т а б л и ц а 8.1. **Характерные источники и причины возникновения технического риска**

Источник технического риска	Причины возникновения технического риска
Низкий уровень научно-исследовательских работ	Ошибочный выбор направлений развития техники и технологии по критериям безопасности
То же, опытно-конструкторских работ	Выбор потенциально опасных конструктивных схем и принципов действия технических систем; ошибки в определении эксплуатационных нагрузок; неправильный выбор конструкционных материалов; недостаточный запас прочности; отсутствие в проектах технических средств безопасности
Опытное производство новой техники	Некачественная доводка конструкций, технологии, документации по критериям безопасности
Серийный выпуск небезопасной техники	Отклонение от заданного химического состава конструкционных материалов; недостаточная точность конструктивных размеров; нарушение режимов термической обработки и химико-термической обработки деталей; нарушение регламентов сборки и монтажа конструкций и машин
Нарушение правил безопасной эксплуатации технических систем	Использование техники не по назначению; нарушение паспортных (проектных) режимов эксплуатации; несвоевременные профилактические осмотры и ремонты; нарушение требований транспортирования и хранения
Ошибки персонала	Слабые навыки действия в сложной ситуации; неумение оценивать информацию о состоянии процесса; слабое знание сущности происходящего процесса; отсутствие самообладания в условиях стресса; недисциплинированность

Риском можно управлять. Европейское сообщество в 1983 г. после крупной аварии в Севезо (Италия) приняло специальную «Директиву по Севезо», согласно которой все новые объекты должны иметь точное обоснование их безопасности. После 1983 г. число аварий в европейской промышленности стало резко снижаться: в 1982 г.— 350, 1983 г.— 400, 1986 г.— 160, 1988 г.— 50.

Снижение травмоопасности технических систем достигается их совершенствованием с целью реализации допустимого техногенного риска.

Защита расстоянием. Варьируя взаимным расположением опасных зон и зон пребывания человека в пространстве, можно существенно влиять на решение задач по обеспечению безопасности жизнедеятельности. Полную безопасность гарантирует только *I* вариант (см рис. 8.1) взаимного расположения зон пребывания и действия негативных факторов — защита расстоянием, реализуемый при дистанционном управлении, наблюдении и т. п. Разводить опасные зоны и зоны пребывания человека можно не только в пространстве, но и во времени, реализуя чередование периодов действия опасностей и периодов наблюдения за состоянием технических систем.

Применение экобиозащитной техники. Для защиты от вредных факторов необходимо применять пылеуловители, водоочистные устройства, экраны и др. Для уменьшения зон действия травмирующих факторов технических систем применяют экобиозащитную технику в виде различных ограждений, защитных боксов и т. п. Принципиальная схема использования экобиозащитной техники показана на рис. 8.2. В тех случаях, когда возможности экобиозащитной техники (*1, 2, 3*) коллективного использования ограничены и не обеспечивают значений ПДК и ПДУ в зонах пребывания людей, для защиты применяют средства индивидуальной защиты.

Средства индивидуальной защиты. На ряде предприятий существуют такие виды работ или условия труда, при которых работающий

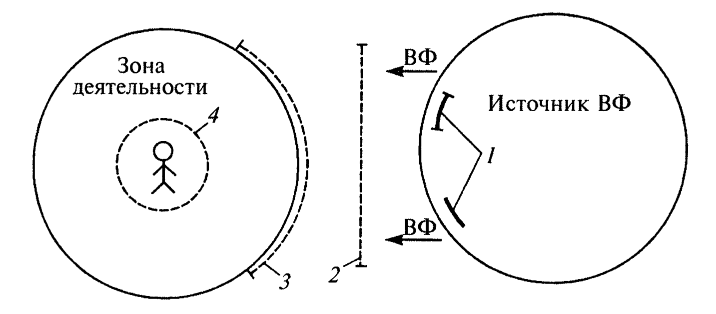


Рис. 8.2. Варианты использования экобиозащитной техники для снижения вредных воздействий:

1 — устройства, входящие в состав источника воздействий; *2* — устройства, устанавливаемые между источником и зоной деятельности; *3* — устройства для защиты зоны деятельности; *4* — средства индивидуальной защиты человека

может получить травму или иное воздействие, опасное для здоровья. Еще более опасные условия для людей могут возникнуть при авариях и при ликвидации их последствий. В этих случаях для защиты человека необходимо применять средства индивидуальной защиты. Их использование должно обеспечивать максимальную безопасность, а неудобства, связанные с их применением, должны быть сведены к минимуму. Номенклатура СИЗ включает обширный перечень средств, применяемых в производственных условиях (СИЗ повседневного использования), а также средств, используемых в чрезвычайных ситуациях (СИЗ кратковременного использования). В последних случаях применяют преимущественно изолирующие средства индивидуальной защиты (ИСИЗ).

Рассмотренные выше варианты использования защиты от опасностей широко применяются на практике. Однако при этом следует иметь в виду, что для защиты от естественных источников опасности не применима защита совершенствованием свойств источника и мало применима защита расстоянием. Последнее возможно лишь при принятии стратегически важных решений по выбору зон пребывания человека. Например, при выборе зоны строительства опасного объекта экономики (АЭС и др.), при прокладке транспортных магистралей в горной местности и т. п. Защита от естественных опасностей обычно реализуется применением коллективных средств защиты (вентиляция, отопление, освещение и т. п.), а в критических ситуациях и применением СИЗ.

Важным обстоятельством при реализации защиты человека от опасностей являются исправность и своевременность применения защитных средств.

Контрольные вопросы к главе 8

1. Назовите возможные способы защиты человека от опасностей в техносфере.
2. Почему сокращение отходов объектов экономики является радикальным способом сокращения негативного воздействия вредных факторов?
3. Когда следует применять СИЗ?
4. Что такое ИСИЗ?

Глава 9
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМФОРТНЫХ УСЛОВИЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

9.1. ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

Эффективным средством обеспечения надлежащей чистоты и допустимых параметров микроклимата воздуха рабочей зоны является промышленная вентиляция. *Вентиляцией* называется организованный и регулируемый воздухообмен, обеспечивающий удаление из помещения загрязненного воздуха и подачу на его место свежего.

По способу перемещения воздуха различают системы естественной и механической вентиляции. Система вентиляции, перемещение воздушных масс в которой осуществляется благодаря возникающей разности давлений снаружи и внутри здания, называется *естественной вентиляцией.* Разность давлений обусловлена разностью плотностей наружного и внутреннего воздуха (гравитационное давление, или *тепловой напор* $\Delta P_{\text{Т}}$) и *ветровым напором* $\Delta P_{\text{в}}$, действующим на здание. Расчетный тепловой напор (Па)

$$\Delta P_{\text{Т}} = gh(\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в}}),$$

где g — ускорение свободного падения, м/с^2; h — вертикальное расстояние между центрами приточного и вытяжного отверстий, м; $\rho_{\text{н}}$ и $\rho_{\text{в}}$ — плотность наружного и внутреннего воздуха, кг/м^3.

При действии ветра на поверхностях здания с подветренной стороны образуется избыточное давление, на заветренной стороне — разряжение. Распределение давлений по поверхности зданий и их значения зависят от направления и силы ветра, а также от взаиморасположения зданий. Ветровой напор (Па)

$$\Delta P_{\text{в}} = k_{\text{п}} \frac{w_{\text{п}}^2}{2} \rho_{\text{н}} ,$$

где $k_{\text{п}}$ — коэффициент аэродинамического сопротивления здания; значение $k_{\text{п}}$ не зависит от ветрового потока, определяется эмпирическим путем и для геометрически подобных зданий остается постоянным; $w_{\text{п}}$ — скорость ветрового потока, м/с.

Неорганизованная естественная вентиляция — *инфильтрация,* или *естественное проветривание,* — осуществляется сменой воздуха в помещениях через неплотности в ограждениях и элементах строительных конструкций благодаря разности давлений снаружи и внутри помещения. Такой воздухообмен зависит от случайных факторов —

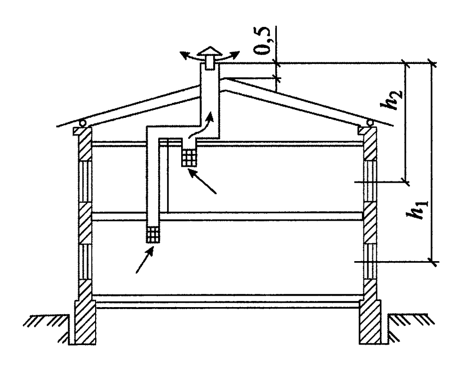


Рис. 9.1. Схема естественной канальной вытяжной вентиляции:

h_1 — нижний ярус окон; h_2 — верхний ярус окон

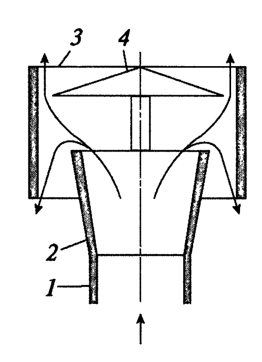


Рис. 9.2. Принципиальная схема дефлектора ЦАГИ:

1 — патрубок; *2* — диффузор; *3* — цилиндрическая обечайка, *4* — зонт

силы и направления ветра, температуры воздуха внутри и снаружи здания, вида ограждений и качества строительных работ. Инфильтрация может быть значительной для жилых зданий и достигать 0,5...0,75 объема помещения в час, а для промышленных предприятий — до 1...1,5 $ч^{-1}$.

Для постоянного воздухообмена, требуемого по условиям поддержания чистоты воздуха в помещении, необходима организованная вентиляция. Организованная естественная вентиляция может быть вытяжной без организованного притока воздуха (канальная) и приточно-вытяжной с организованным притоком воздуха (канальная и бесканальная аэрация). *Канальная* естественная вытяжная вентиляция без организованного притока воздуха (рис. 9.1) широко применяется в жилых и административных зданиях. Расчетное гравитационное давление таких систем вентиляции определяют при температуре наружного воздуха + 5°С, считая, что все давление падает в тракте вытяжного канала, при этом сопротивление входу воздуха в здание не учитывается. При расчете сети воздуховодов прежде всего производят ориентировочный подбор их сечений, исходя из допустимых скоростей движения воздуха в каналах верхнего этажа 0,5...0,8 м/с, в каналах нижнего этажа и сборных каналах верхнего этажа — 1,0 м/с и в вытяжной шахте — 1...1,5 м/с.

Для увеличения располагаемого давления в системах естественной вентиляции на устье вытяжных шахт устанавливают насадки-дефлекторы. Наибольшее распространение получили дефлекторы типа ЦАГИ (рис. 9.2), которые представляют собой цилиндрическую обечайку, укрепленную над вытяжным патрубком, заканчивающимся плавным диффузором. Поток ветра, обтекая обечайку, создает вокруг

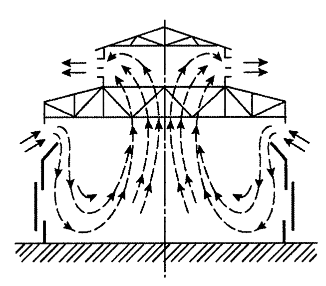


Рис. 9.3. Схема аэрации промышленного здания

большей части ее периметра разряжение, обеспечивающее подсос воздуха из вытяжного патрубка. Разрежение, создаваемое дефлектором, и количество удаляемого воздуха зависят от скорости ветра и могут быть определены с помощью номограмм.

Аэрацией называется организованная естественная общеобменная вентиляция помещений в результате поступления и удаления воздуха через открывающиеся фрамуги окон и фонарей. Воздухообмен в помещении регулируют различной степенью открывания фрамуг (в зависимости от температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра). Как способ вентиляции аэрация нашла широкое применение в промышленных зданиях, характеризующихся технологическими процессами с большими тепловыделениями (прокатных цехах, литейных, кузнечных). Поступление наружного воздуха в цех в холодный период года организуют так, чтобы холодный воздух не попадал в рабочую зону. Для этого наружный воздух подают в помещение через проемы, расположенные не ниже 4,5 м от пола (рис. 9.3), в теплый период года приток наружного воздуха ориентируют через нижний ярус оконных проемов (h = 1,5...2 м).

При расчете аэрации определяют требуемую площадь проходного сечения проемов и аэрационных фонарей для подачи и удаления необходимого количества воздуха. Исходными данными являются конструктивные размеры помещений, проемов и фонарей, величины теплопродукции в помещении, параметры наружного воздуха. Согласно СНиП 2.04.05—91, расчет рекомендуется выполнять на действие гравитационного давления. Ветровой напор надлежит учитывать только при решении вопросов защиты вентиляционных проемов от задувания.

Основным достоинством аэрации является возможность осуществлять большие воздухообмены без затрат механической энергии. К недостаткам аэрации следует отнести то, что в теплый период года эффективность аэрации может существенно падать вследствие повышения температуры наружного воздуха и того, что поступающий в помещение воздух не очищается и не охлаждается.

Вентиляция, с помощью которой воздух подается в производственные помещения или удаляется из них по системам вентиляционных каналов с использованием для этого специальных механических побудителей, называется *механической вентиляцией*.

Механическая вентиляция по сравнению с естественной имеет ряд преимуществ: большой радиус действия вследствие значительного давления, создаваемого вентилятором; возможность изменять или сохранять необходимый воздухообмен независимо от температуры наружного воздуха и скорости ветра; подвергать вводимый в помещение воздух предварительной очистке, осушке или увлажнению, подогреву или охлаждению; организовывать оптимальное воздухораспределение с подачей воздуха непосредственно к рабочим местам; улавливать вредные выделения непосредственно в местах их образования и предотвращать их распространение по всему объему помещения, а также возможность очищать загрязненный воздух перед выбросом его в атмосферу. К недостаткам механической вентиляции следует отнести значительную стоимость сооружения и эксплуатации ее и необходимость проведения мероприятий по борьбе с шумом.

Системы механической вентиляции подразделяются на общеобменные, местные, смешанные, аварийные и системы кондиционирования.

Общеобменная вентиляция предназначена для ассимиляции избыточной теплоты, влаги и вредных веществ во всем объеме рабочей зоны помещений. Она применяется в том случае, если вредные выделения поступают непосредственно в воздух помещения, рабочие места не фиксированы, а располагаются по всему помещению. Обычно объем воздуха $L_{пр}$, подаваемого в помещение при общеобменной вентиляции, равен объему воздуха $L_в$, удаляемого из помещения. Однако в ряде случаев возникает необходимость нарушить это равенство (рис. 9.4). Так, в особо чистых цехах электровакуумного производства, для которых большое значение имеет отсутствие пыли, объем притока воздуха делается больше объема вытяжки, за счет чего создается некоторый избыток давления в производственном помещении, что исключает попадание пыли из соседних помещений. В общем случае разница между объемами приточного и вытяжного воздуха не должна превышать 10...15 %.

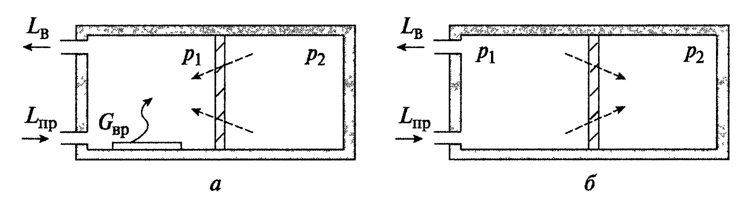
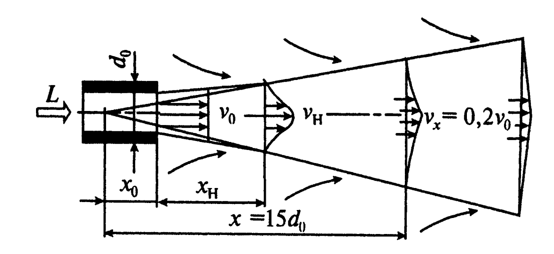


Рис. 9.4. Принципиальная схема вентиляции для выбора соотношения объемов приточного и удаляемого воздуха:

а — $L_а > L_{пр}$, $p_1 < p_2$; *б* — $L_в < L_{пр}$, $p_1 > p_2$



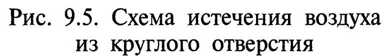


Рис. 9.5. Схема истечения воздуха из круглого отверстия

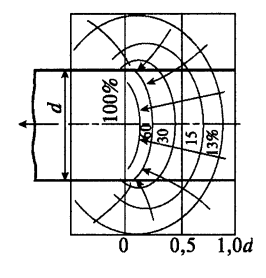


Рис. 9.6. Спектры скорости воздуха при всасывании в трубу

Существенное влияние на параметры воздушной среды в рабочей зоне оказывают правильная организация и устройство приточных и вытяжных систем.

Воздухообмен, создаваемый в помещении вентиляционными устройствами, сопровождается циркуляцией воздушных масс в несколько раз больших объема подаваемого или удаляемого воздуха. Возникающая циркуляция является основной причиной распространения и перемешивания вредных выделений и создания в помещении разных по концентрации и температуре воздушных зон. Так, приточная струя, входя в помещение, вовлекает в движение окружающие массы воздуха, в результате чего масса струи в направлении движения будет возрастать, а скорость падать. При истечении из круглого отверстия (рис. 9.5) на расстоянии 15 диаметров от устья скорость струи составит 20 % от первоначальной скорости v_0, а объем перемещающегося воздуха увеличится в 4,6 раза.

Скорость затухания движения воздуха зависит от диаметра выпускного отверстия d_0: чем больше d_0, тем медленнее затухание. Если нужно быстрее погасить скорость приточных струй, подаваемый воздух должен быть разбит на большое число мелких струй.

Существенное влияние на траекторию струи оказывает температура приточного воздуха: если температура приточной струи выше температуры воздуха помещения, то ось загибается вверх, если ниже, то вниз и при изотермическом течении она совпадает с осью приточного отверстия.

К всасывающему отверстию (вытяжная вентиляция) воздух натекает со всех сторон, вследствие чего и падение скорости происходит весьма интенсивно (рис. 9.6). Так, скорость всасывания на расстоянии одного диаметра от отверстия круглой трубы равна 5 % v_0.

Циркуляция воздуха в помещении и соответственно концентрация примесей и распределение параметров микроклимата зависят не

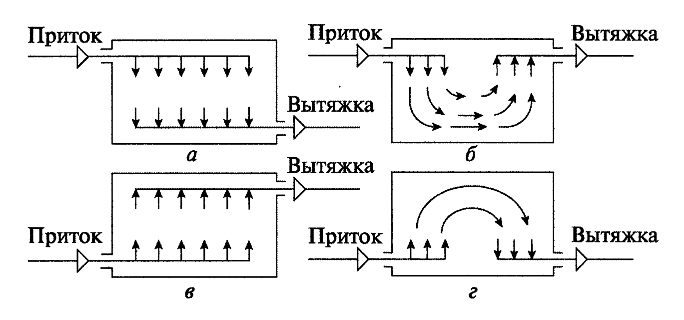


Рис. 9.7. Схемы организации воздухообмена при общеобменной вентиляции

только от наличия приточных и вытяжных струй, но и от их взаимного расположения. Различают четыре основные схемы организации воздухообмена при общеобменной вентиляции: сверху — вниз (рис. 9.7, *а*), сверху — вверх (см. рис. 9.7, *б*); снизу — вверх (см. рис. 9.7, *в*). Кроме этих схем, применяют комбинированные. Наиболее равномерное распределение воздуха достигается в том случае, когда приток равномерен по ширине помещения, а вытяжка сосредоточенна.

При организации воздухообмена в помещениях необходимо учитывать и физические свойства вредных паров и газов и в первую очередь их плотность. Если плотность газов ниже плотности воздуха, то удаление загрязненного воздуха происходит в верхней зоне, а подача свежего — непосредственно в рабочую зону. При выделении газов с плотностью, большей плотности воздуха, из нижней части помещения удаляется 60...70 % и из верхней части 30...40 % загрязненного воздуха. В помещениях со значительными выделениями влаги вытяжка влажного воздуха осуществляется в верхней зоне, а подача свежего в количестве 60 % — в рабочую зону и 40 % — в верхнюю зону.

По способу подачи и удаления воздуха различают четыре схемы общеобменной вентиляции (рис. 9.8): *приточная, вытяжная, приточно-вытяжная* и *системы с рециркуляцией*. По *приточной системе* воздух подается в помещение после подготовки его в приточной камере. В помещении при этом создается избыточное давление, за счет которого воздух уходит наружу через окна, двери или в другие помещения. Приточную систему применяют для вентиляции помещений, которые нежелательно попадание загрязненного воздуха из соседних помещений или холодного воздуха извне.

Установки приточной вентиляции (рис. 9.8, *а*) обычно состоят из следующих элементов: воздухозаборного устройства *1* для забора чистого воздуха; воздуховодов *2*, по которым воздух подается в помещение, фильтров *3* для очистки воздуха от пыли, калориферов *4*, в кото-

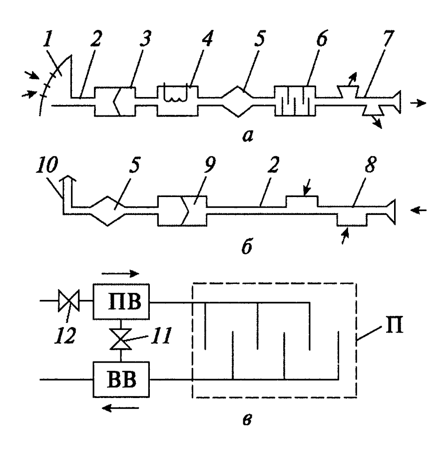


Рис. 9.8. Схемы общеобменной вентиляции:

а — приточная вентиляция (ПВ); *б* — вытяжная вентиляции (ВВ); *в* — приточно-вытяжная вентиляция с рециркуляцией

рых подогревается холодный наружный воздух; побудителя движения *5*, увлажнителя-осушителя *6*, приточных отверстий или насадков *7*, через которые воздух распределяется по помещению. Воздух из помещения удаляется через неплотности ограждающих конструкций.

Вытяжная система предназначена для удаления воздуха из помещения. При этом в нем создается пониженное давление и воздух соседних помещений или наружный воздух поступает в данное помещение. Вытяжную систему целесообразно применять в том случае, если вредные выделения данного помещения не должны распространяться на соседние, например для вредных цехов, химических и биологических лабораторий.

Установки вытяжной вентиляции (см. рис. 9.8, *б*) состоят из вытяжных отверстий или насадков *8*, через которые воздух удаляется из помещения; побудителя движения *5*; воздуховодов *2*; устройств для очистки воздуха от пыли или газов *9*, устанавливаемых для защиты атмосферы, и устройства для выброса воздуха *10*, которое располагается на 1...1,5 м выше конька крыши. Чистый воздух поступает в производственное помещение через неплотности в ограждающих конструкциях, что является недостатком данной системы вентиляции, так как неорганизованный приток холодного воздуха (сквозняки) может вызвать простудные заболевания.

Приточно-вытяжная вентиляция — наиболее распространенная система, при которой воздух подается в помещение приточной системой, а удаляется вытяжной; системы работают одновременно.

В отдельных случаях для сокращения эксплуатационных расходов на нагревание воздуха применяют системы вентиляции с частичной рециркуляцией (см. рис. 9.8, *в*). В них к поступающему снаружи воздуху подмешивают воздух, отсасываемый из помещения П вытяжной сис-

темой. Количество свежего и вторичного воздуха регулируют клапанами *11* и *12*. Свежая порция воздуха в таких системах обычно составляет 20...10 % общего количества подаваемого воздуха. Систему вентиляции с рециркуляцией разрешается использовать только для тех помещений, в которых отсутствуют выделения вредных веществ или выделяющиеся вещества относятся к 4-му классу опасности, и концентрация их в воздухе, подаваемом в помещение, не превышает 30 % предельно допустимой концентрации ($C_{ПДК}$). Применение рециркуляции не допускается и в том случае, если в воздухе помещений содержатся болезнетворные бактерии, вирусы или имеются резко выраженные неприятные запахи.

Отдельные установки общеобменной механической вентиляции могут не включать всех указанных выше элементов. Например, приточные системы не всегда оборудуются фильтрами и устройствами для изменения влажности воздуха, а иногда приточные и вытяжные установки могут не иметь сети воздуховодов.

Расчет потребного воздухообмена при общеобменной вентиляции производят, исходя из условий производства и наличия избыточной теплоты, влаги и вредных веществ. Для качественной оценки эффективности воздухообмена применяют понятие кратности воздухообмена $k_в$ — отношение количества воздуха, поступающего в помещение в единицу времени L (м^3/ч), к объему вентилируемого помещения $V_п$ (м^3). При правильно организованной вентиляции кратность воздухообмена должна быть значительно больше единицы.

При нормальном микроклимате и отсутствии вредных выделений количество воздуха при общеобменной вентиляции принимают в зависимости от объема помещения, приходящегося на одного работающего. Отсутствие вредных выделений — это такое их количество в технологическом оборудовании, при одновременном выделении которых в воздухе помещения концентрация вредных веществ не превысит предельно допустимую. В производственных помещениях с объемом воздуха на каждого работающего $V_{п1} < 20$ м^3 расход воздуха на одного работающего L_1 должен быть не менее 30 м^3/ч. В помещении с $V_{п1} = 20...40$ м^3 $L_1 \geq 20$ м^2/ч. В помещениях с $V_{п1} > 40$ м^3 и при наличии естественной вентиляции воздухообмен не рассчитывают. В случае отсутствия естественной вентиляции (герметичные кабины) расход воздуха на одного работающего должен составлять не менее 60 м^3/ч. Необходимый воздухообмен для всего производственного помещения в целом

$$L = nL_1,$$

где n — число работающих в данном помещении.

При определении потребного воздухообмена для борьбы с теплоизбытками составляют баланс явной теплоты помещения. При отсутствии в производственном помещении местных отсосов уравнение теплового баланса принимает вид:

$$\Delta Q_{изб} + G_{пр}c_{р}t_{пр} + G_{в}c_{р}t_{ух} = 0,$$

где $\Delta Q_{изб}$ — избытки явной теплоты всего помещения, кВт; $C_{пр}c_{р}\ t_{пр}$ и $G_{в}c_{р}t_{ух}$ — теплосодержание приточного и удаляемого воздуха, кВт; $c_{р}$ — удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг · °С); $t_{пр}$ и $t_{ух}$ — температура приточного и уходящего воздуха, °С.

В летнее время вся теплота, которая поступает в помещение, является суммой теплоизбытков. В холодный период года часть тепловыделений в помещении расходуется на компенсацию теплопотерь

$$\Delta Q_{изб} = \sum_{i=1}^{n} Q_{т} -\sum_{i=1}^{m} Q_{пот},$$

где $\sum_{i=1}^{n} Q_{т}$ — тепловыделения в помещении, кВт; $\sum_{i=1}^{n} Q_{пот}$ — потери теплоты через наружные ограждения, кВт.

Температура наружного воздуха в теплый период года принимается равной средней температуре самого жаркого месяца в 13 ч. Расчетные температуры для теплого и холодного периодов года приведены в СНиП 2.04.05—91. Температура удаляемого из помещения воздуха

$$t_{ух} = t_{рз} + a(H - 2),$$

где $t_{рз}$ — температура воздуха в рабочей зоне, °С; a — градиент температуры по высоте помещения, °С/м; для помещений с $q_{я} < 23$ Вт/м^3 можно принять $a = 0,5°$ С/см. Для «горячих» цехов с $q_{я} \geq 23$ Вт/м^3 — $a = 0,7...1,5°$ С/м; H — расстояние от пола до центра вытяжных отверстий, м.

Исходя из баланса явной теплоты помещения определяют необходимый воздухообмен (L, м^3/ч) для ассимиляции теплоизбытков:

$$L = \frac{\Delta Q_{изб}}{c_{р}\rho_{пр}(t_{ух} - t_{пр})},$$

где $\rho_{пр}$ — плотность приточного воздуха, кг/м^3.

При определении необходимого воздухообмена для борьбы с вредными парами и газами составляют уравнение материального баланса вредных выделений в помещении за время $d\tau$ (с):

$$G_{вр}d\tau + L_{пр}c_{пр}d\tau - L_{в}c_{в}d\tau = V_{п}dC,$$

где $G_{вр}d\tau$ — количество вредных выделений в помещении, обусловленных работой технологического оборудования, мг; $L_{пр}C_{пр}d\tau$ — количество вредных выделений, поступающих в помещение вместе с приточным воздухом, мг; $L_{в}C_{в}d\tau$ — количество вредных выделений, удаляемых из помещения вместе с уходящим воздухом, мг; $V_{п}dC$ — количество вредных паров или газов, накопившихся в помещении за время $d\tau$; $C_{пр}$ и $C_{в}$ — концентрация вредных веществ в приточном и удаляемом воздухе, мг/м^3.

При равенстве количества приточного ($L_{пр}$) и удаляемого ($L_{в}$) системой вентиляции воздуха и отсутствия в производственном помещении местных отстоев, равномерном распределении по помещению и, принимая, что концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны остается постоянной в течение рабочей смены и равной предельно допустимой, т. е. $dC/dt = 0$, и $C_{в} = C_{ПДК}$, определим потребный воздухообмен для ассимиляции вредных выделений:

$$L = G_{вр}/(C_{ПДК} - C_{пр}).$$

Концентрация вредных веществ в приточном воздухе должна быть по возможности минимальной и не превышать 30 % ПДК.

Необходимый воздухообмен для удаления избыточной влаги находят исходя из материального баланса по влаге и при отсутствии в производственном помещении местных отсосов определяют по формуле

$$L = \frac{G_{вп}}{\rho_{пр}(d_{ух} - d_{пр})},$$

где $G_{вп}$ — количество водяного пара, выделяющегося в помещение, г/ч; $\rho_{пр}$ — плотность воздуха, поступающего в помещение, кг/м^3; $d_{ух}$ — допустимое содержание водяного пара в воздухе помещения при нормативной температуре и относительной влажности воздуха, г/кг; $d_{пр}$ — влагосодержание приточного воздуха, г/кг.

При одновременном выделении в рабочую зону вредных веществ, не обладающих однонаправленным действием на организм человека, например теплоты и влаги, необходимый воздухообмен принимают по наибольшему количеству воздуха, полученному в расчетах для каждого вида производственных выделений.

При одновременном выделении в воздух рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия (серный и сернистый ангидрид; оксиды азота совместно с оксидом углерода и др., см. СН 245—71) расчет общеобменной вентиляции надлежит производить путем суммирования объемов воздуха, необходимых для разбавления каждого вещества в отдельности до его условных предельно допустимых концентраций $[c_i]$, учитывающих загрязнения воздуха другими веществами. Эти концентрации меньше нормативных $c_{\text{ПДК}}$ и определяются из уравнения $\sum_{i=1}^{n} \frac{[C_i]}{C_{\text{ПДК}}} \leq 1$.

С помощью *местной вентиляции* необходимые метеорологические параметры создаются на отдельных рабочих местах. Например, улавливание вредных веществ непосредственно у источника возникновения, вентиляция кабин наблюдения и т. д. Наиболее широкое распространение находит местная вытяжная локализующая вентиляция. Основной метод борьбы с вредными выделениями заключается в устройстве и организации отсосов от укрытий.

Конструкции местных отсосов могут быть полностью закрытыми, полуоткрытыми или открытыми (рис. 9.9). Наиболее эффективны закрытые отсосы. К ним относятся кожухи, камеры, герметично или плотно укрывающие технологическое оборудование (см. рис. 9.9, *а*). Если такие укрытия устроить невозможно, то применяют отсосы с частичным укрытием или открытые: вытяжные зонты, отсасывающие панели, вытяжные шкафы, бортовые отсосы и др.

Один из самых простых видов местных отсосов — вытяжной зонт (см. рис. 9.9, *ж*). Он служит для улавливания вредных веществ, имеющих меньшую плотность, чем окружающий воздух. Зоны устанавливают над ваннами различного назначения, электро- и индукционными печами и над отверстиями для выпуска металла и шлака из вагранок. Зонты делают открытыми со всех сторон и частично открытыми с одной, двух и трех сторон. Эффективность работы вытяжного зонта зависит от размеров, высоты подвеса и угла его раскрытия. Чем больше размеры и чем ниже установлен зонт над местом выделения веществ, тем он эффективнее. Наиболее равномерное всасывание обеспечивается при угле раскрытия зонта не менее 60°.

Отсасывающие панели (см. рис. 9.9, *в*) применяют для удаления вредных выделений, увлекаемых конвективными токами, при таких ручных операциях, как электросварка, пайка, газовая сварка, резка металла и т. п. Вытяжные шкафы (см. рис. 9.9, *е*) — наиболее эффективное устройство по сравнению с другими отсосами, так как почти полностью укрывают источник выделения вредных веществ. Незакрытыми в шкафах остаются лишь проемы для обслуживания, через которые

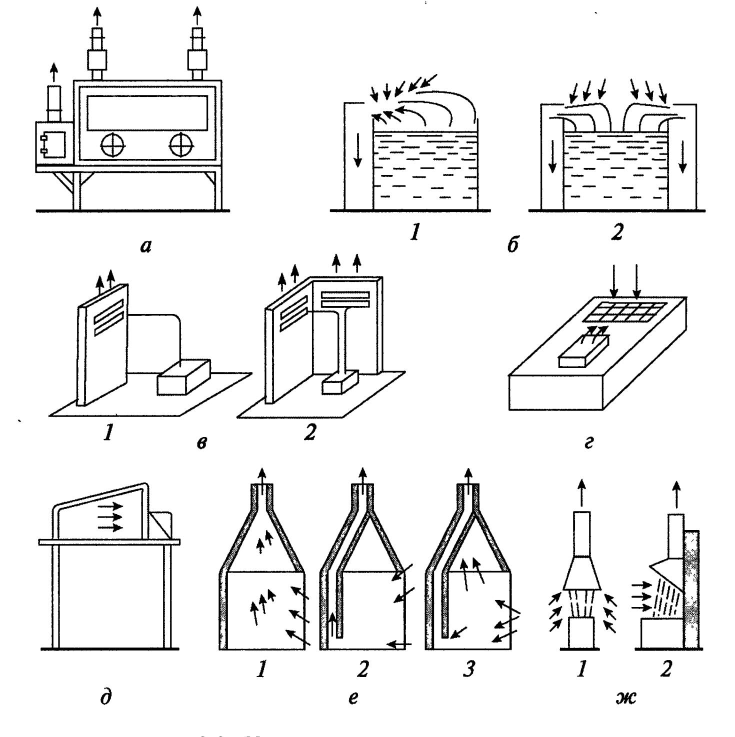


Рис. 9.9. Устройство местной вентиляции:

а — укрытие-бокс; *б* — бортовые отсосы (*1* — однобортовой; *2* — двухбортовой); *в* — боковые отсосы (*1* — односторонний; *2* — угловой); *г* — отсос от рабочих столов; *д* — отсос витражного типа; *е* — вытяжные шкафы (*1* — с верхним отсосом; *2* — с нижним отсосом; *3* — с комбинированным отсосом); *ж* — вытяжные зонты (*1* — прямой; *2* — наклонный)

воздух из помещения поступает в шкаф. Форму проема выбирают в зависимости от характера технологических операций.

Необходимый воздухообмен в устройствах местной вытяжной вентиляции рассчитывают, исходя из условия локализации примесей, выделяющихся из источника образования. Требуемый часовой объем отсасываемого воздуха определяют как произведение площади приемных отверстий отсоса F ($м^2$) на скорость воздуха в них. Скорость воздуха в проеме отсоса v (м/с) зависит от класса опасности вещества и типа воздухоприемника местной вентиляции ($v = 0{,}5...5$ м/с).

Смешанная система вентиляции является сочетанием элементов местной и общеобменной вентиляции. Местная система удаляет вредные вещества из кожухов и укрытий машин. Однако часть вредных веществ через неплотности укрытий проникает в помещение. Эта часть удаляется общеобменной вентиляцией.

Аварийная вентиляция предусматривается в тех производственных помещениях, в которых возможно внезапное поступление в воздух большого количества вредных или взрывоопасных веществ. Производительность аварийной вентиляции определяют в соответствии с требованиями нормативных документов в технологической части проекта. Если такие документы отсутствуют, то производительность аварийной вентиляции принимается такой, чтобы она вместе с основной вентиляцией обеспечивала в помещении не менее восьми воздухообменов за 1 ч. Система аварийной вентиляции должна включаться автоматически при достижении ПДК вредных выделений или при остановке одной из систем общеобменной или местной вентиляции. Выброс воздуха аварийных систем должен осуществляться с учетом возможности максимального рассеивания вредных и взрывоопасных веществ в атмосфере.

Для создания оптимальных метеорологических условий в производственных помещениях применяют наиболее совершенный вид промышленной вентиляции — кондиционирование воздуха. *Кондиционированием воздуха* называется его автоматическая обработка с целью поддержания в производственных помещениях заранее заданных метеорологических условий независимо от изменения наружных условий и режимов внутри помещения. При кондиционировании автоматически регулируются температура воздуха, его относительная влажность и скорость подачи в помещение в зависимости от времени года, наружных метеорологических условий и характера технологического процесса в помещении. Такие строго определенные параметры воздуха создаются в специальных установках, называемых *кондиционерами*. В ряде случаев помимо обеспечения санитарных норм микроклимата воздуха в кондиционерах производят специальную обработку: ионизацию, дезодорацию, озонирование и т. п.

Кондиционеры могут быть местными (для обслуживания отдельных помещений) и центральными (для обслуживания нескольких отдельных помещений). Принципиальная схема кондиционера представлена на рис. 9.10. Наружный воздух очищается от пыли в фильтре *2* и поступает в камеру *I*, где он смешивается с воздухом из помещения (при рециркуляции). Пройдя через ступень предварительной температурной обработки *4*, воздух поступает в камеру *II*, где проходит специальную обработку (промывку воздуха водой, обеспечивающую заданные параметры относительной влажности, и очистку воздуха), и в камеру *III* (температурная обработка). При температурной обработке зимой воздух подогревается частично за счет температуры воды, поступающей в форсунки *5*, и частично проходя через калориферы *4* и *7*. Летом воздух охлаждается частично подачей в камеру *II* охлажден-

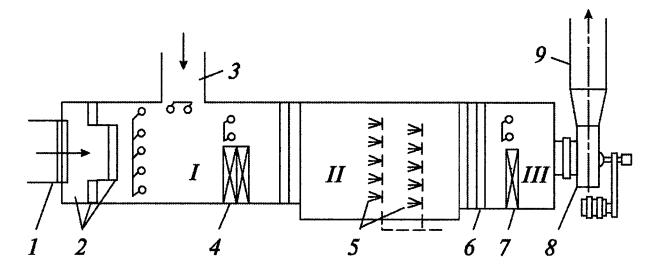


Рис. 9.10. Схема кондиционера:

1 — заборный воздуховод; *2* — фильтр; *3* — соединительный воздуховод; *4* — калорифер; *5* — форсунки увлажнителя воздуха; *6* — каплеуловитель; *7* — калорифер второй ступени; *8* — вентилятор; *9* — отводной воздуховод

ной (артезианской) воды и главным образом в итоге работы специальных холодильных машин.

Кондиционирование воздуха играет существенную роль не только с точки зрения безопасности жизнедеятельности, но и во многих технологических процессах, при которых не допускаются колебания температуры и влажности воздуха (особенно в радиоэлектронике). Поэтому установки кондиционирования в последние годы находят все более широкое применение на промышленных предприятиях.

9.2. ЗАЩИТА ОТ ВЛИЯНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ВЫСОКИХ И НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Ведущая роль в профилактике вредного влияния высоких температур, инфракрасного излучения принадлежит технологическим мероприятиям: замена старых и внедрение новых технологических процессов и оборудования, способствующих оздоровлению неблагоприятных условий труда (например, замена кольцевых печей для сушки форм и стержней в литейном производстве туннельными; применение штамповки вместо поковочных работ; применение индукционного нагрева металлов токами высокой частоты и т. д.). Внедрение автоматизации и механизации дает возможность пребывания рабочих вдали от источника радиационной и конвекционной теплоты.

К группе санитарно-технических и организационных мероприятий относится применение коллективных средств защиты: локализация тепловыделений, теплоизоляция горячих поверхностей, экранирование источников либо рабочих мест; воздушное душирование, радиационное охлаждение, мелкодисперсное распыление воды; общеобменная вентиляция или конди-

ционирование воздуха. Общеобменной вентиляции при этом отводится ограниченная роль — доведение условий труда до допустимых с минимальными эксплуатационными затратами.

Уменьшению поступления теплоты в цех способствуют мероприятия, обеспечивающие герметичность оборудования (*локализация тепловыделений*). Плотно подогнанные дверцы, заслонки, блокировка закрытия технологических отверстий с работой оборудования — все это значительно снижает выделение теплоты от открытых источников. Выбор теплозащитных средств в каждом случае должен осуществляться по максимальным значениям эффективности с учетом требований эргономики, технической эстетики, безопасности для данного процесса или вида работ и технико-экономического обоснования. Устанавливаемые в цехе теплозащитные средства должны быть простыми в изготовлении и монтаже, удобными для обслуживания, не затруднять осмотр, чистку, смазывание агрегатов, обладать необходимой прочностью, иметь минимальные эксплуатационные расходы. Теплозащитные средства должны обеспечивать облученность на рабочих местах не более 350 Вт/м^2 и температуру поверхности оборудования не выше 308 K (35°C) при температуре внутри источника до 373 K (100°C) и не выше 318 K (45°C) при температурах внутри источника выше 373 K (100°C).

Теплоизоляция поверхностей источников излучения (печей, сосудов и трубопроводов с горячими газами и жидкостями) снижает температуру излучающей поверхности и уменьшает как общее тепловыделение, так и радиационное. Кроме улучшения условий труда, тепловая изоляция уменьшает тепловые потери оборудования, снижает расход топлива (электроэнергии, пара) и приводит к увеличению производительности агрегатов. Следует иметь в виду, что тепловая изоляция, повышая рабочую температуру изолируемых элементов, может резко сократить срок их службы, особенно в тех случаях, когда теплоизолируемые конструкции находятся в температурных условиях, близких к верхнему допустимому пределу для данного материала. В таких случаях решение о тепловой изоляции должно быть проверено расчетом рабочей температуры и изолируемых элементов. Если она окажется выше предельно допустимой, то защита от тепловых излучений должна осуществляться другими способами.

Конструктивно теплоизоляция может быть мастичной, оберточной, засыпной, из штучных изделий и смешанной. Мастичная изоляция осуществляется нанесением мастики (штукатурного раствора с теплоизоляционным наполнителем) на горячую поверхность изолируемого объекта. Эту изоляцию можно применять на объектах любой конфигурации. Оберточную изоляцию изготовляют из волокнистых

материалов — асбестовой ткани, минеральной ваты, войлока и др. Устройство оберточной изоляции проще мастичной, но на объектах сложной конфигурации ее труднее закреплять. Наиболее пригодна оберточная изоляция для трубопроводов. Засыпную изоляцию применяют реже, так как необходимо устанавливать кожух вокруг изолируемого объекта. Эту изоляцию используют в основном при прокладке трубопроводов в каналах и коробах, там, где требуется большая толщина изоляционного слоя, или при изготовлении теплоизоляционных панелей. Теплоизоляцию штучными или формованными изделиями, скорлупами применяют для облегчения работ. Смешанная изоляция состоит из нескольких различных слоев. В первом слое обычно устанавливают штучные изделия. Наружный слой изготовляют из мастичной или оберточной изоляции. Целесообразно устраивать алюминиевые кожухи снаружи теплоизоляции. Затраты на устройство кожухов быстро окупаются вследствие уменьшения тепловых потерь на излучение и повышение долговечности изоляции под кожухом.

При выборе материала для изоляции необходимо принимать во внимание механические свойства материалов, а также их способность выдерживать высокую температуру. Обычно для этого применяют материалы, коэффициент теплопроводности которых при температурах 50...10°С меньше 0,2 Вт/(м · °С).Многие теплоизоляционные материалы берут в их естественном состоянии, например асбест, слюда, торф, земля, но большинство получают в результате специальной обработки естественных материалов и представляют собой различные смеси.

При высоких температурах изолируемого объекта применяют многослойную изоляцию: сначала ставят материал, выдерживающий высокую температуру (высокотемпературный слой), а затем уже более эффективный материал, с точки зрения теплоизоляционных свойств. Толщину высокотемпературного слоя выбирают с учетом того, чтобы температура на его поверхности не превышала предельную температуру следующего слоя.

Теплозащитные экраны применяют для локализации источников лучистой теплоты, уменьшения облученности на рабочих местах и снижения температуры поверхностей, окружающих рабочее место. Ослабление теплового потока за экраном обусловлено его поглотительной и отражательной способностью. В зависимости от того, какая способность экрана более выражена, различают теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие экраны. По степени прозрачности экраны делят на три класса: непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные.

К первому классу относят металлические водоохлаждаемые и футерированные асбестовые, альфолиевые, алюминиевые экраны; ко второму — экраны из металлической сетки, цепные завесы, экраны из стекла, армированного металлической сеткой; все эти экраны могут орошаться водяной пленкой. Третий класс составляют экраны из различных стекол: силикатного, кварцевого и органического, бесцветного, окрашенного и металлизированного, пленочные водяные завесы, свободные и стекающие по стеклу, вододисперсные завесы.

При воздействии на работающего теплового облучения интенсивностью 0,35 кВт/м^2 и более, а также 0,175...0,35 кВт/м^2 при площади излучающих поверхностей в пределах рабочего места более 0,2 м^2 применяют *воздушное душирование* (подачу воздуха в виде воздушной струи, направленной на рабочее место). Воздушное душирование устраивают также для производственных процессов с выделением вредных газов или паров и при невозможности устройства местных укрытий.

Охлаждающий эффект воздушного душирования зависит от разности температур тела работающего и потока воздуха, а также от скорости обтекания воздухом охлаждаемого тела. Для обеспечения на рабочем месте заданных температур и скоростей воздуха ось воздушного потока направляют на грудь человека горизонтально или под углом 45°, а для обеспечения допустимых концентраций вредных веществ ее направляют в зону дыхания горизонтально или сверху под углом 45°.

В потоке воздуха из душирующего патрубка должны быть обеспечены равномерная скорость и одинаковая температура. Расстояние от кромки душирующего патрубка до рабочего места должно быть не менее 1 м. Минимальный диаметр патрубка принимают равным 0,3 м; при фиксированных рабочих местах расчетную ширину рабочей площадки принимают равной 1 м.

При душировании по способу ниспадающего потока воздух подают на рабочее место сверху с минимально возможного расстояния струей большого сечения и с максимальной скоростью. Душирование по способу ниспадающего потока требует меньшего расхода воздуха и меньшей степени его охлаждения по сравнению с обычными воздушными душами, что позволяет в большинстве случаев обходиться испарительным (адиабатическим) охлаждением воздуха рециркуляционной водой.

При интенсивности облучения свыше 2,1 кВт/м^2 воздушный душ не может обеспечить необходимого охлаждения. В этом случае надо по возможности уменьшить облучение, предусматривая теплоизоляцию, экранирование или водовоздушное душирование. Это позволяет, наряду с усилением конвективного теплообме-

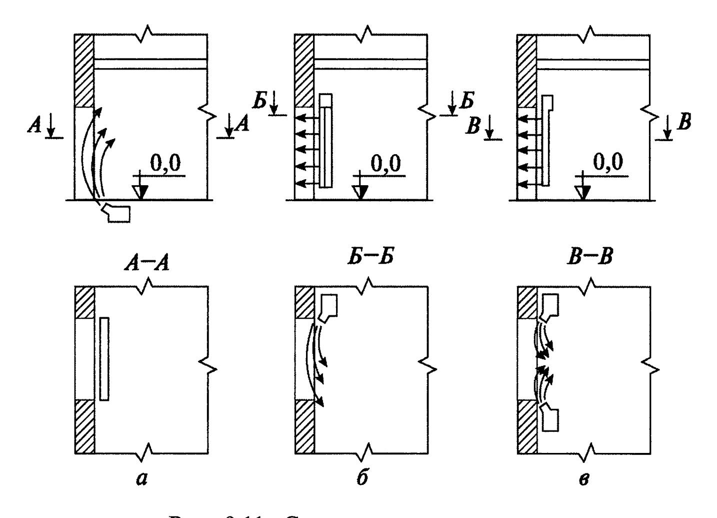


Рис. 9.11. Схемы воздушных завес:
а — с нижней подачей воздуха; *б* — односторонних; *в* — двусторонних

на, увеличить и теплоотдачу организма путем испарения влаги с поверхности тела и одежды. Для периодического охлаждения рабочих устраивают радиационные кабины, комнаты отдыха.

Воздушные завесы предназначены для защиты от прорыва холодного воздуха в помещение через проемы здания (ворота, двери и т. п.). Воздушная завеса представляет собой воздушную струю, направленную под углом навстречу холодному потоку воздуха. Она выполняет роль воздушного шибера, уменьшая прорыв холодного воздуха через проемы. Согласно СНиП 2.04.05—91, воздушные завесы необходимо устанавливать у проемов отапливаемых помещений при температуре наружного воздуха –15°С и ниже.

Применяют несколько основных схем воздушных завес. Завесы с нижней подачей (рис. 9.11, *а*) наиболее экономичны по расходу воздуха и рекомендуются в том случае, когда недопустимо понижение температуры вблизи проемов. Для проемов небольшой ширины рекомендуется схема, показанная на рис. 9.11, *б*. Схему с двусторонним боковым направлением струй (см. рис. 9.11, *в*) используют в тех случаях, когда возможна остановка транспорта в воротах.

Количество и температуру воздуха для завесы определяют расчетным путем, причем температура нагрева воздуха для воздушных завес ворот принимается не более 70°С, для дверей — не более 50°С.

Воздушные оазисы предназначены для улучшения метеорологических условий труда (чаще отдыха на ограниченной площади). Для этого разработаны схемы кабин с легкими передвижными перегород-

ками, которые затапливаются воздухом с соответствующими параметрами.

Мероприятия по профилактике неблагоприятного воздействия холода должны предусматривать предупреждение выхолаживания производственных помещений, использование средств индивидуальной защиты (респираторы, противогазы, спецодежда), подбор рационального режима труда и отдыха. Спецодежда должна быть воздухо- и влагонепроницаемой (хлопчатобумажная, льняная, грубошерстное сукно), иметь удобный покрой. Для работы в экстремальных условиях (ликвидация пожаров и др.) применяют специальные костюмы, обладающие повышенной теплосветоотдачей. Для защиты головы от излучения применяют дюралевые, фибровые каски, войлочные шляпы; для защиты глаз — очки темные или с прозрачным слоем металла, маски с откидным экраном.

Важным фактором, способствующим повышению работоспособности рабочих в горячих цехах, является р а ц и о н а л ь н ы й р е ж и м т р у д а и о т д ы х а. Он разрабатывается применительно к конкретным условиям работы. Частые короткие перерывы более эффективны для поддержания работоспособности, чем редкие, но продолжительные. При физических работах средней тяжести на открытом воздухе с температурой до 25°С внутренний режим предусматривает 10-минутные перерывы после 50...60 мин работы; при температуре наружного воздуха 25...33°С рекомендуется 5-минутный перерыв после 45 мин работы и разрыв рабочей смены на 4...5 ч на период наиболее жаркого времени.

При кратковременных работах в условиях высоких температур (тушении пожаров, ремонте металлургических печей), где температура достигает 80...100°С, большое значение имеет тепловая тренировка. Устойчивость к высоким температурам может быть в некоторой степени повышена с использованием фармакологических средств (дибазола, аскорбиновой кислоты, смеси этих веществ и глюкозы), вдыхания кислорода, аэроионизации.

При нефиксированных рабочих местах и работе на открытом воздухе в холодных климатических условиях организуют специальные помещения для обогревания. При неблагоприятных метеорологических условиях — температуре воздуха — 10°С и ниже — обязательны перерывы на обогрев продолжительностью 10...15 мин каждый час. При температуре наружного воздуха — 30...— 45°С 15-минутные перерывы на отдых организуются каждые 60 мин от начала рабочей смены и после обеда, а затем через каждые 45 мин работы. В помещения для обогрева необходимо предусматривать возможность питья горячего чая.

9.3. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

9.3.1. Параметры и устройство освещения

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное психофизиологическое воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

Ощущение зрения происходит под воздействием видимого излучения (света), которое представляет собой электромагнитное излучение с длиной волны 0,38...0,76 мкм. Чувствительность зрения максимальна к электромагнитному излучению с длиной волны 0,555 мкм (желто-зеленый цвет) и уменьшается к границам видимого спектра.

Освещение характеризуется количественными и качественными показателями. К количественным показателям относятся:

световой поток Φ — часть лучистого потока, воспринимаемая человеком как свет; характеризует мощность светового излучения, измеряется в люменах (лм);

сила света J — пространственная плотность светового потока; определяется как отношение светового потока $d\Phi$, исходящего от источника и равномерно распространяющегося внутри элементарного телесного угла d_Ω, к величине этого угла; $J = d\Phi/d_\Omega$; измеряется в канделах (кд);

освещенность E — поверхностная плотность светового потока; определяется как отношение светового потока $d\Phi$, равномерно падающего на освещаемую поверхность dS (м^2), к ее площади; $E = d\Phi/dS$; измеряется в люксах (лк);

яркость B поверхности под углом α к нормали — это отношение силы света dJ_α, излучаемой, освещаемой или светящейся поверхностью в этом направлении, к площади dS проекции этой поверхности, на плоскость, перпендикулярную этому направлению; $B = dJ_\alpha/(dS\cos\alpha)$; измеряется в кд · м$^{-2}$.

Для качественной оценки условий зрительной работы используют такие показатели, как фон, контраст объекта с фоном, коэффициент пульсации освещенности, видимость, показатель ослепленности, спектральный состав света.

Фон — это поверхность, на которой происходит различение объекта. Фон характеризуется способностью поверхности отражать падающий на нее световой поток. Эта способность (коэффициент отражения ρ) определяется как отношение отраженного от поверхности светового потока $\Phi_{отр}$ к падающему на нее световому потоку $\Phi_{пад}$,

$\rho = \Phi_{отр}/\Phi_{пад}$. В зависимости от цвета и фактуры поверхности значения коэффициента отражения находятся в пределах 0,2...0,95; при $\rho > 0,4$ фон считается светлым; при $\rho = 0,2...0,4$ — средним и при $\rho < 0,2$ — темным.

Контраст объекта с фоном k — степень различения объекта и фона — характеризуется соотношением яркостей рассматриваемого объекта (точки, линии, знака, пятна, трещины, риски или других элементов) и фона; $k = (B_{об} - B_{ф})/B_{об}$ (при $B_{об} > B_{ф}$) считается большим, если $k > 0,5$ (объект резко выделяется на фоне), средним при $k = 0,2...0,5$ (объект и фон заметно отличаются по яркости) и малым при $k < 0,2$ (объект слабо заметен на фоне).

Коэффициент пульсации освещенности k_E — это критерий глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока

$$k_E = 100(E_{max} - E_{min})/(2E_{ср}),$$

где E_{max}, E_{min}, $E_{ср}$ — максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период колебаний; для газоразрядных ламп $k_E = 25...65$ %, для обычных ламп накаливания $k_E = 7$ %, для галогенных ламп накаливания $k_E = 1$ %.

Видимость V характеризует способность глаза воспринимать объект. Она зависит от освещенности, размера объекта, его яркости, контраста объекта с фоном, длительности экспозиции. Видимость определяется числом пороговых контрастов в контрасте объекта с фоном, т. е. $V = k/k_{пор}$, где $k_{пор}$ — пороговый или наименьший различимый глазом контраст, при небольшом уменьшении которого объект становится неразличимым на этом фоне.

Показатель ослепленности P_0 — критерий оценки слепящего действия, создаваемого осветительной установкой,

$$P_0 = 1000(V_1/V_2 - 1),$$

где V_1 и V_2 — видимость объекта различения соответственно при экранировании и наличии ярких источников света в поле зрения.

Экранирование источников света осуществляется с помощью щитков, козырьков и т. п.

При освещении производственных помещений используют *естественное освещение,* создаваемое прямыми солнечными лучами и рассеянным светом небосвода и меняющимся в зависимости от географической широты, времени года и суток, степени облачности и прозрачности атмосферы; *искусственное освещение,* создаваемое электрическими источниками света, и *комбинированное освещение,* при

котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняют искусственным.

Конструктивно *естественное освещение* подразделяют на боковое (одно- и двустороннее), осуществляемое через световые проемы в наружных стенах; верхнее — через световые проемы в кровле и перекрытиях; комбинированное — сочетание верхнего и бокового освещения.

Искусственное освещение по конструктивному исполнению может быть двух видов — общее и комбинированное. Систему *общего освещения* применяют в помещениях, где по всей площади выполняются однотипные работы (литейные, сварочные, гальванические цехи), а также в административных, конторских и складских помещениях. Различают общее равномерное освещение (световой поток распределяется равномерно по всей площади без учета расположения рабочих мест) и общее локализованное освещение (с учетом расположения рабочих мест).

При выполнении точных зрительных работ (например, слесарных, токарных, контрольных) в местах, где оборудование создает глубокие, резкие тени или рабочие поверхности расположены вертикально (штампы, гильотинные ножницы), наряду с общим освещением применяют *местное*. Совокупность местного и общего освещения называют *комбинированным освещением*. Применение одного местного освещения внутри производственных помещений не допускается, поскольку образуются резкие тени, зрение быстро утомляется и создается опасность производственного травматизма.

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяют на рабочее, аварийное и специальное, которое может быть охранным, дежурным, эвакуационным, эритемным, бактерицидным и др.

Рабочее освещение предназначено для обеспечения нормального выполнения производственного процесса, прохода людей, движения транспорта и является обязательным для всех производственных помещений.

Аварийное освещение устраивают для продолжения работы в тех случаях, когда внезапное отключение рабочего освещения (при авариях) и связанное с этим нарушение нормального обслуживания оборудования могут вызвать взрыв, пожар, отравление людей, нарушение технологического процесса и т. д. Минимальная освещенность рабочих поверхностей при аварийном освещении должна составлять 5 % нормируемой освещенности рабочего освещения, но не менее 2 лк.

Эвакуационное освещение предназначено для обеспечения эвакуации людей из производственного помещения при авариях и отключении рабочего освещения; организуется в местах, опасных для прохода людей: на лестничных клетках, вдоль основных проходов производственных помещений, в которых работают более 50 чел. Минимальная освещенность на полу основных проходов и на ступеньках при эвакуационном освещении должна быть не менее 0,5 лк, на открытых территориях — не менее 0,2 лк.

Охранное освещение устраивают вдоль границ территорий, охраняемых специальным персоналом. Наименьшая освещенность в ночное время 0,5 лк.

Сигнальное освещение применяют для фиксации границ опасных зон; оно указывает на наличие опасности либо на безопасный путь эвакуации.

Условно к производственному освещению относят бактерицидное и эритемное облучение помещений. *Бактерицидное облучение* («освещение») создается для обеззараживания воздуха, питьевой воды, продуктов питания. Наибольшей бактерицидной способностью обладают ультрафиолетовые лучи с $\lambda = 0{,}254...0{,}257$ мкм. *Эритемное облучение* создается в производственных помещениях, где недостаточно солнечного света (северные районы, подземные сооружения). Максимальное эритемное воздействие оказывают электромагнитные лучи с $\lambda = 0{,}297$ мкм. Они стимулируют обмен веществ, кровообращение, дыхание и другие функции организма человека.

Основной задачей производственного освещения является поддержание на рабочем месте освещенности, соответствующей характеру зрительной работы. Увеличение освещенности рабочей поверхности улучшает видимость объекта за счет повышения их яркости, увеличивает скорость различения деталей, что сказывается на росте производительности труда. Так, при выполнении отдельных операций на главном конвейере сборки автомобилей при повышении освещенности с 30 до 75 лк производительность труда повысилась на 8 %, до 100 лк — на 28 % (по данным проф. А.Л. Тарханова). Дальнейшее повышение освещенности практически не дает повышения производительности.

При организации производственного освещения необходимо обеспечить равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и окружающих предметах. Перевод взгляда с ярко освещенной на слабо освещенную поверхность вынуждает глаз переадаптироваться, что ведет к утомлению зрения и соответственно к снижению производительности труда. Для повышения равномерности естественного освещения больших цехов осуществляется комбинированное

освещение. Светлая окраска потолка, стен и оборудования способствует равномерному распределению яркостей в поле зрения работающего.

Производственное освещение должно обеспечивать отсутствие в поле зрения работающего резких теней. Наличие резких теней искажает размеры и формы объектов различения и тем самым повышает утомляемость, снижает производительность труда. Особенно вредны движущиеся тени, которые могут привести к травмам. Тени необходимо смягчать, применяя, например, светильники со светорассеивающими молочными стеклами, при естественном освещении, используя солнцезащитные устройства (жалюзи, козырьки и др.).

Для улучшения видимости объектов в поле зрения работающего должна отсутствовать прямая и отраженная блескость. *Блескость* — это повышенная яркость светящихся поверхностей, вызывающая нарушение зрительных функций (ослепленность), т. е. ухудшение видимости объектов. Блескость ограничивают уменьшением яркости источника света, правильным выбором защитного угла светильника, увеличением высоты подвеса светильников, правильным направлением светового потока на рабочую поверхность, а также изменением угла наклона рабочей поверхности. Там, где это возможно, блестящие поверхности следует заменять матовыми.

Колебания освещенности на рабочем месте, вызванные, например, резким изменением напряжения в сети, обусловливают переадаптацию глаза, приводя к значительному утомлению. Постоянство освещенности во времени достигается стабилизацией плавающего напряжения, жестким креплением светильников, применением специальных схем включения газоразрядных ламп.

При организации производственного освещения следует выбирать необходимый *спектральный состав светового потока*. Это требование особенно существенно для обеспечения правильной цветопередачи, а в отдельных случаях для усиления цветовых контрастов. Оптимальный спектральный состав обеспечивает естественное освещение. Для создания правильной цветопередачи применяют монохроматический свет, усиливающий одни цвета и ослабляющий другие.

Осветительные установки должны быть удобны и просты в эксплуатации, долговечны, отвечать требованиям эстетики, электробезопасности, а также не должны быть причиной возникновения взрыва или пожара. Обеспечение указанных требований достигается применением защитного зануления или заземления, ограничением напряжения питания переносных и местных светильников, защитой элементов осветительных сетей от механических повреждений и т. п.

Источники света, применяемые для искусственного освещения, делят на две группы — *газоразрядные лампы* и *лампы накаливания. Лампы накаливания* относятся к источникам света теплового излучения. Видимое излучение в них получается в результате нагрева электрическим током вольфрамовой нити. В *газоразрядных лампах* излучение оптического диапазона спектра возникает в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов и паров металлов, а также за счет явлений люминесценции, которое невидимое ультрафиолетовое излучение преобразует в видимый свет.

При выборе и сравнении источников света друг с другом пользуются следующими параметрами: номинальное напряжение питания U (В); электрическая мощность лампы P (Вт); световой поток, излучаемый лампой Φ (лм), или максимальная сила света J (кд); световая отдача $\psi = \Phi/P$ (лм/Вт), т. е. отношение светового потока лампы к ее электрической мощности; срок службы лампы и спектральный состав света.

Благодаря удобству в эксплуатации, простоте в изготовлении, низкой инерционности при включении, отсутствии дополнительных пусковых устройств, надежности работы при колебаниях напряжения и при различных метеорологических условиях окружающей среды лампы накаливания находят широкое применение в промышленности. Наряду с отмеченными преимуществами лампы накаливания имеют и существенные недостатки: низкая световая отдача (для ламп общего назначения $\psi = 7...20$ лм/Вт), сравнительно малый срок службы (до 2,5 тыс. ч), в спектре преобладают желтые и красные лучи, что сильно отличает их спектральный состав от солнечного света.

В последние годы все большее распространение получают *галоидные лампы* — лампы накаливания с йодным циклом. Наличие в колбе паров йода позволяет повысить температуру накала нити, т. е. световую отдачу лампы (до 40 лм/Вт). Пары вольфрама, испаряющиеся с нити накаливания, соединяются с йодом и вновь оседают на вольфрамовую спираль, препятствуя распылению вольфрамовой нити и увеличивая срок службы лампы до 3 тыс. ч. Спектр излучения галоидной лампы более близок к естественному.

Основным преимуществом газоразрядных ламп перед лампами накаливания является большая световая отдача 40...110 лм/Вт. Они имеют значительно больший срок службы, который у некоторых типов ламп достигает 8...12 тыс. ч. От газоразрядных ламп можно получить световой поток любого желаемого спектра, подбирая соответствующим образом инертные газы, пары металлов, люминоформ. По спектральному составу видимого света различают лампы дневного

света (ЛД), дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛЛД), холодного белого (ЛХБ), теплого белого (ЛТБ) и белого цвета (ЛБ).

Основным недостатком газоразрядных ламп является пульсация светового потока, что может привести к появлению стробоскопического эффекта, заключающегося в искажении зрительного восприятия. При кратности или совпадении частоты пульсации источника света и обрабатываемых изделий вместо одного предмета видны изображения нескольких, искажается направление и скорость движения, что делает невозможным выполнение производственных операций и ведет к увеличению опасности травматизма. К недостаткам газоразрядных ламп следует отнести также длительный период разгорания, необходимость применения специальных пусковых приспособлений, облегчающих зажигание ламп; зависимость работоспособности от температуры окружающей среды. Газоразрядные лампы могут создавать радиопомехи, исключение которых требует специальных устройств.

При выборе источников света для производственных помещений необходимо руководствоваться общими рекомендациями: отдавать предпочтение газоразрядным лампам как энергетически более экономичным и обладающим большим сроком службы; для уменьшения первоначальных затрат на осветительные установки и расходов на их эксплуатацию необходимо по возможности использовать лампы наибольшей мощности, но без ухудшения при этом качества освещения.

Создание в производственных помещениях качественного и эффективного освещения невозможно без рациональных светильников. *Электрический светильник* — это совокупность источника света и осветительной арматуры, предназначенной для перераспределения излучаемого источником светового потока в требуемом направлении, предохранения глаз рабочего от слепящего действия ярких элементов источника света, защиты источника от механических повреждений, воздействия окружающей среды и эстетического оформления помещения.

Для характеристики светильника с точки зрения распределения светового потока в пространстве строят график силы света в полярной системе координат (рис. 9.12). Степень предохранения глаз работников от слепящего действия источника света определяют защитным углом светильника. Защитный угол — это угол между горизонталью, соединяющей нить накала (поверхность лампы) с противоположным краем отражателя (рис. 9.13). Важной характеристикой светильника является его коэффициент полезного действия — отно-

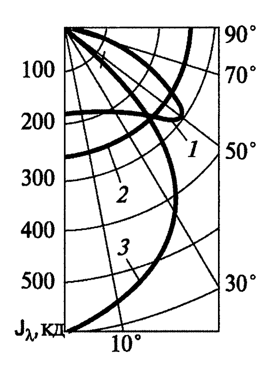


Рис. 9.12. Кривые распределения силы света в пространстве:

1 — широкая; *2* — равномерная; *3* — глубокая

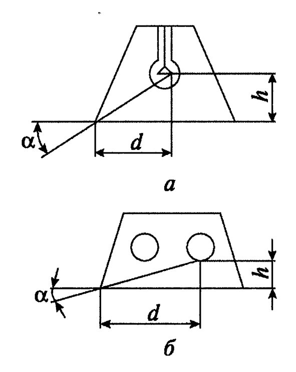


Рис. 9.13. Защитный угол светильника:

а — с лампой накаливания; *б* — с люминесцентными лампами

шение фактического светового потока светильника $\Phi_ф$ к световому потоку помещенной в него лампы $\Phi_п$, т. е. $n_{св} = \Phi_ф/\Phi_п$.

По распределению светового потока в пространстве различают светильники прямого, преимущественно прямого, рассеянного, отраженного и преимущественно отраженного света. Конструкция светильника должна надежно защищать источник света от пыли, воды и других внешних факторов, обеспечивать электро-, пожаро- и взрывобезопасность, стабильность светотехнических характеристик в данных условиях среды, удобство монтажа и обслуживания, соответствовать эстетическим требованиям. В зависимости от конструктивного исполнения различают светильники открытые, защищенные, закрытые, пылепроницаемые, влагозащитные, взрывозащищенные, взрывобезопасные. На рис. 9.14 приведены некоторые наиболее распространенные типы светильников (*а* — *д* — для ламп накаливания, *е* — *ж* — для газоразрядных ламп).

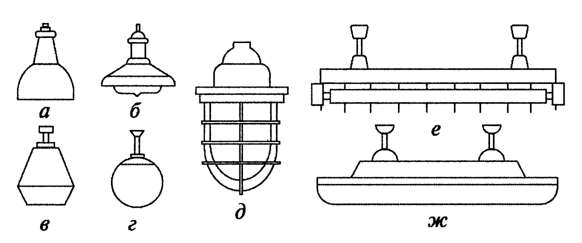


Рис. 9.14. Основные типы светильников:

а — «Универсаль»; *б* — «Глубокоизлучатель»; *в* — «Люцета»; *г* — «Молочный шарик»; *д* — взрывобезопасный типа ВЗГ; *е* — типа ОД; *ж* — типа ПВЛП

9.3.2. Нормирование и расчет освещения

Естественное и искусственное освещение в помещениях регламентируется нормами СНиП 23-05—95 в зависимости от характера зрительной работы, системы и вида освещения, фона, контраста объекта с фоном. Характеристика зрительной работы определяется наименьшим размером объекта различения (например, при работе с приборами — толщиной линии градуировки шкалы, при чертежных работах — толщиной самой тонкой линии). В зависимости от размера объекта различения все виды работ, связанные со зрительным напряжением, делятся на восемь разрядов, которые, в свою очередь, в зависимости от фона и контраста объекта с фоном делятся на четыре подразряда.

Искусственное освещение нормируется количественными (минимальной освещенностью E_{min}) и качественными показателями (показателями ослепленности и дискомфорта, коэффициентом пульсации освещенности k_E). Принято раздельное нормирование искусственного освещения в зависимости от применяемых источников света и системы освещения. Нормативное значение освещенности для газоразрядных ламп при прочих равных условиях из-за их большей светоотдачи выше, чем для ламп накаливания. При комбинированном освещении доля общего освещения должна быть не менее 10 % нормируемой освещенности. Эта величина должна быть не менее 150 лк для газоразрядных ламп и 50 лк для ламп накаливания.

Для ограничения слепящего действия светильников общего освещения в производственных помещениях показатель ослепленности не должен превышать 20...80 единиц в зависимости от продолжительности и разряда зрительной работы. При освещении производственных помещений газоразрядными лампами, питаемыми переменным током промышленной частоты 50 Гц, глубина пульсаций не должна превышать 10...20 % в зависимости от характера выполняемой работы.

При определении нормы освещенности следует учитывать также ряд условий, вызывающих необходимость повышения уровня освещенности, выбранного по характеристике зрительной работы. Увеличение освещенности следует предусматривать, например, при повышенной опасности травматизма или при выполнении напряженной зрительной работы I...IV разрядов в течение всего рабочего дня. В некоторых случаях следует снижать норму освещенности, например, при кратковременном пребывании людей в помещении.

Естественное освещение характеризуется тем, что создаваемая освещенность изменяется в зависимости от времени суток, года, ме-

теорологических условий. Поэтому в качестве критерия оценки естественного освещения принята относительная величина — коэффициент естественной освещенности КЕО, не зависящий от вышеуказанных параметров. КЕО — это отношение освещенности в данной точке внутри помещения $E_{вн}$ к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности $E_н$, создаваемой светом полностью открытого небосвода, выраженное в процентах, т. е. КЕО = $100E_{вн}/E_н$.

Принято раздельное нормирование КЕО для бокового и верхнего естественного освещения. При боковом освещении нормируют минимальное значение КЕО в пределах рабочей зоны, которое должно быть обеспечено в точках, наиболее удаленных от окна; в помещениях с верхним и комбинированным освещением — по усредненному КЕО в пределах рабочей зоны. Нормированное значение КЕО с учетом характеристики зрительной работы, системы освещения, района расположения зданий на территории страны

$$E_н = \text{КЕО}m,$$

где КЕО — коэффициент естественной освещенности; m — коэффициент светового климата, определяемый в зависимости от района расположения здания на территории страны и ориентации здания относительно сторон света; коэффициент m определяют по таблицам СНиП 23-05—95.

Совмещенное освещение допускается для производственных помещений, в которых выполняются зрительные работы 1-го и 11-го разрядов; для производственных помещений, строящихся в северной климатической зоне страны; для помещений, в которых по условиям технологии требуется выдерживать стабильными параметры воздушной среды (участки прецизионных металлообрабатывающих станков, электропрецизионного оборудования). При этом общее искусственное освещение помещений должно обеспечиваться газоразрядными лампами, а нормы освещенности повышаются на одну ступень.

Основной задачей светотехнических расчетов является: для естественного освещения определение необходимой площади световых проемов; для искусственного — требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещенности.

При естественном боковом освещении требуемая площадь световых проемов (м^2):

$$S_{ок}^{тр} = S_п c_н S_{ок} k_{зд} k_з / (100 \rho \tau_{общ}),$$

где $S_п$ — площадь пола помещений, м^2; $S_{ок}$ — коэффициент световой активности оконного проема; $k_{зд}$ — коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями; $k_з$ — коэффициент запа-

са; определяется с учетом запыленности помещения, расположения стекол (наклонно, горизонтально, вертикально) и периодичности очистки; ρ — коэффициент, учитывающий влияние отраженного света; определяется с учетом геометрических размеров помещения, светопроема и значений коэффициентов отражения стен, потолка, пола; $\tau_{общ}$ — общий коэффициент светопропускания; определяется в зависимости от коэффициента светопропускания стекол, потерь света в переплетах окон, слоя его загрязнения, наличия несущих и солнцезащитных конструкций перед окнами.

При выбранных светопроемах действительные значения коэффициента естественного освещения для различных точек помещения рассчитывают с использованием графоаналитического метода Данилюка по СНиП 23-05—95.

При проектировании искусственного освещения необходимо выбрать тип источника света, систему освещения, вид светильника; наметить целесообразную высоту установки светильников и размещения их в помещении; определить число светильников и мощность ламп, необходимых для создания нормируемой освещенности на рабочем месте, и в заключение проверить намеченный вариант освещения на соответствие его нормативным требованиям.

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента использования светового потока. Световой поток (лм) одной лампы или группы люминесцентных ламп одного светильника

$$\Phi_к = E_н S z k_з/(n\eta_и),$$

где $E_н$ — нормируемая минимальная освещенность по СНиП 23-05—95, лк; S — площадь освещаемого помещения, м^2; z — коэффициент неравномерности освещения; обычно $z = 1{,}1...1{,}2$; $k_з$ — коэффициент запаса, зависящий от вида технологического процесса и типа применяемых источников света; обычно $k_з = 1{,}3...1{,}8$; n — число светильников в помещении; $\eta_и$ — коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока, давший название методу расчета, определяют по СНиП 23-05—95 в зависимости от типа светильника, отражательной способности стен и потолка, размеров помещения, определяемых индексом помещения

$$j = AB/[H(A + B)],$$

где A и B — длина и ширина помещения в плане, м; H — высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м.

По полученному в результате расчета световому потоку по ГОСТ 2239—79* и ГОСТ 6825—91 выбирают ближайшую стандартную лампу и определяют необходимую электрическую мощность. При выборе лампы допускается отклонение светового потока от расчетного в пределах 10...20 %.

Для поверочного расчета местного освещения, а также для расчета освещенности конкретной точки наклонной поверхности при общем локализованном освещении применяют точечный метод. В основу точечного метода положено уравнение

$$E_А = I_\alpha \cos\alpha / r^2,$$

где $E_А$ — освещенность горизонтальной поверхности в расчетной точке А, лк; I_α — сила света в направлении от источника к расчетной точке А; определяется по кривой распределения светового потока выбираемого светильника и источника света; α — угол между нормалью к поверхности, которой принадлежит точка, и направлением вектора силы света в точку А; r — расстояние от светильника до точки А, м.

Учитывая, что $r = H/\cos\alpha$ и вводя коэффициент запаса $k_з$, получим $E_А = I_\alpha \cos^3\alpha/(Hk_з)$. Критерием правильности расчета служит неравенство $E_А \geq E_Н$.

9.4. ЦВЕТОВОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Рациональное цветовое оформление производственного интерьера — действенный фактор улучшения условий труда и жизнедеятельности человека. Установлено, что цвета могут воздействовать на человека по-разному: одни цвета успокаивают, а другие раздражают.

Красный цвет стимулирует нервные центры, заряжает энергией печень и мышцы, вызывает у человека условный рефлекс, направленный на самозащиту. Однако при длительном воздействии может вызвать усталость и учащение сердцебиения. Красный цвет противопоказан при гипертонии, воспалительных процессах, плохо воздействует он и на ярко-рыжих людей. *Оранжевый* воспринимается людьми так же, как горячий, он согревает, бодрит, стимулирует к активной деятельности.

Желтый и лимонный цвета активизируют двигательные центры, генерируют энергию мышц, стимулируют и очищают печень, располагают к хорошему настроению. Противопоказаны при повышенной температуре тела, перевозбуждении, воспалительных процессах и зрительных галлюцинациях.

Зеленый цвет покоя и свежести, устраняет спазмы кровеносных сосудов и понижает кровяное давление, успокаивающе действует на нервную систему, а в сочетании с желтым благотворно влияет на настроение.

Синий и голубой цвета свежи и прозрачны, кажутся легкими, воздушными, обладают противомикробным действием. Под их воздействием уменьшается физическое напряжение, они могут регулировать ритм дыхания, успокаивать пульс. Однако следует помнить, что темно-синий цвет при длительном воздействии на человека может вызвать усталость и депрессию.

Черный цвет — мрачный и тяжелый, резко снижает настроение. *Белый цвет* — холодный, однообразный, способный вызвать апатию.

Разностороннее эмоциональное воздействие цвета на человека позволяет широко использовать его в гигиенических целях. Поэтому при оформлении интерьера производственного помещения цвет используют как композиционное средство, обеспечивающее гармоническое единство помещения и технологического оборудования, как фактор, создающий оптимальные условия зрительной работы и способствующий повышению работоспособности; как средство информации, ориентации и сигнализации для обеспечения безопасности труда.

Поддержание рациональной цветовой гаммы в производственных помещениях достигается правильным выбором осветительных установок, обеспечивающих необходимый световой спектр. В процессе эксплуатации осветительных установок необходимо предусматривать регулярную очистку от загрязнений светильников и остекленных проемов, своевременную замену отработавшей свой срок службы лампы, контроль напряжений питания осветительной сети, регулярную и рациональную окраску стен, потолка, оборудования.

Сроки очистки светильников и остекления зависят от степени запыленности помещения: для помещений с незначительными выделениями пыли — 2 раза в год; со значительным выделением пыли — 4...12 раз в год. Для удобства и безопасности очистки осветительных установок применяют передвижные тележки, телескопические лестницы, подвесные люльки. При высоте подвеса светильников до 5 м допускается обслуживание их с приставных лестниц и стремянок. Очищать светильники следует при отключенном питании.

Контрольные вопросы к главе 9

1. Каково основное назначение промышленной вентиляции?
2. В чем различие естественной и механической вентиляций?
3. В чем основное отличие аэрации от инфильтрации?

4. Какие виды механической вентиляции вы знаете? Назовите область применения отдельных видов вентиляции.

5. В каких производственных помещениях следует устраивать приточную (вытяжную) вентиляцию?

6. Как определить потребный воздухообмен при наличии в воздухе помещений «однонаправленных» или «разнонаправленных» вредных выделений?

7. Чем отличается промышленная вентиляция от системы кондиционирования воздуха?

8. Назовите качественные и количественные показатели освещения.

9. Каким параметром нормируется искусственное (естественное) освещение? От каких факторов зависит его численное значение?

10. Перечислите основные технические характеристики источников света.

11. Назовите основные технические характеристики электрических светильников.

Глава 10

ЗАЩИТА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА, ГИДРОСФЕРЫ И ЗЕМЕЛЬ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЧИСТОТЫ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

10.1. ЗАЩИТА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

10.1.1. Состав и расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

Промышленные предприятия. Окружающий человека атмосферный воздух непрерывно подвергается загрязнению. Воздух производственных помещений загрязняется выбросами технологического оборудования или при проведении технологических процессов без локализации отходящих веществ. Удаляемый из помещения вентиляционный воздух может стать причиной загрязнения атмосферного воздуха промышленных площадок и населенных мест. Кроме того, воздух промышленных площадок и населенных мест загрязняется технологическими выбросами цехов, выбросами ТЭС, транспортных средств и других источников.

Воздух жилых помещений загрязняется продуктами сгорания природного газа и других топлив, испарениями растворителей, моющих средств, древесно-стружечных конструкций и т. п., а также токсичными веществами, поступающими в жилые помещения с приточным вентиляционным воздухом. В летний период года при средней наружной температуре 20°C в жилые помещения проникает около 90 % примесей наружного воздуха, а в переходный период при темпе-

ратуре 2,5°С — 40 %. Номенклатура токсичных примесей в воздухе производственных помещений и в технологических выбросах промышленного объекта определяется совокупностью технологических процессов, видом используемого сырья и материалов, характеристиками применяемых машин и оборудования.

Современное машиностроение развивается на базе крупных производственных объединений, включающих заготовительные и кузнечно-прессовые цехи, цехи термической и механической обработки металлов, цехи покрытий и крупное литейное производство. В состав предприятий также входят испытательные станции, ТЭЦ и вспомогательные подразделения. В процессе производства машин и оборудования широко используют сварочные работы, механическую обработку металлов, переработку неметаллических материалов, лакокрасочные операции и т. п. Ниже даны рекомендации по расчету выбросов загрязняющих веществ основными цехами машиностроительного производства. Источники и выбросы в атмосферный воздух предприятий других отраслей подробно рассмотрены в [9 и 10].

Масса выброса i-го загрязняющего вещества

$$m_i = m_{\text{уд}i} \Pi k(1 - \eta), \tag{10.1}$$

где $m_{\text{уд}i}$ — удельное выделение i-го загрязняющего вещества на единицу продукции; Π — расчетная производительность технологического процесса (агрегата и т. п.); k — поправочный коэффициент для учета особенностей технологического процесса; η — эффективность средств очистки выбросов в долях единицы; при отсутствии средств очистки $\eta = 0$.

Наиболее крупными источниками пыле- и газовыделений в атмосферу в **литейных цехах** являются: вагранки, электродуговые и индукционные печи, участки складирования и переработки шихты и формовочных материалов; участки выбивки и очистки литья.

Удельные выделения загрязняющих веществ (кг/т) при плавке чугуна в открытых чугунолитейных вагранках и в электродуговых печах производительностью 7 т/ч приведены ниже:

	Пыль	**Оксид углерода**	**Углеводороды**	**Оксиды азота**	**Диоксид серы**
Открытая вагранка	19	200	2,4	0,014	1,5
Электродуговая печь	8,1	1,5	—	0,29	—

Удельные выделения загрязняющих веществ (кг/т) при плавке цветных металлов и сплавов составляют:

	Пыль	Оксиды азота	Диоксид серы	Оксид углерода	Прочие вещества
Индукционные печи	1,2	0,7	0,4	0,9	0,2
Электродуговые печи	1,8	1,2	0,8	1,1	0,3
Печи сопротивления	1,5	0,5	0,7	0,5	0,3
Газомазутные плавильные печи (плавка алюминия)	2,8	0,6	0,6	1,4	0,18

При работе плавильных агрегатов кроме организованных нужно учитывать неорганизованные выделения, произошедшие вследствие неплотностей технологического оборудования и при выполнении некоторых операций (например, при выпуске расплавленного металла в изложницы). Они составляют в среднем 40 % массы веществ, выделяемых плавильными агрегатами, поэтому для учета количества неорганизованных выбросов в формуле (10.1) принимают $k = 1,4$.

При выпуске 1 т чугуна из вагранок в ковш в атмосферу цеха выделяется 18...22 г графитовой пыли и 125...130 г оксида углерода. При разливе чугуна в формы в атмосферу цеха дополнительно выделяется оксид углерода в количестве:

Масса отливок, т	0,1	0,2...0,3	0,5...1	1...2
Удельное выделение оксида углерода, кг/т . .	1,05	0,9	0,75	0,7

При литье под действием теплоты жидкого металла из формовочных смесей выделяются бензол, фенол, формальдегид и другие токсичные вещества. Их количество зависит от состава формовочных смесей, массы и способа получения отливки и других факторов. Выделения газов при заливке форм металлом и их охлаждении можно определить по данным [10].

От участков выбивки отливок на 1 м^2 площади решетки выделяется до 45...60 кг/ч пыли, 5...6 кг/ч оксида углерода, 3 кг/ч аммиака. Значительными выделениями пыли сопровождаются процессы очистки и обрубки отливок в дробеметных и дробеструйных камерах, очистных барабанах и на столах.

Много пыли и газов выделяют в атмосферу участки литейных цехов по приготовлению, переработке и использованию шихты и формовочных материалов. Интенсивность выделения вредных веществ (приведено к формальдегиду) при изготовлении стержней из холоднотвердеющей смеси зависит от состава связующего вещества (газовыделение отнесено к 1 дм^2 площади поверхности стержня):

	При заполнении ящиков смесью, мг/(кг · ч)	При отверждении смеси, мг/(дм² · ч)
Фенолформальдегидные (ОФ-1)	9,2	1,46
Карбамидоформальдегидные (УКС) . .	215	37,8
Карбамидофурановые (БС-40)	41	5,7
На основе синтетических смол УГТС	61	10,3

В процессах нагрева и обработки металла в **кузнечно-прессовых цехах** выделяются пыль, оксид углерода, диоксид серы и другие вредные вещества.

Для определения массы выделений вредных веществ от пламенных нагревательных печей целесообразно пользоваться удельными показателями по выбросам, приведенными к единице массы (т) или объема ($м^3$) сжигаемого топлива (S — содержание серы в исходном топливе, %; $A^р$ — зольность топлива, %)

	Пыль	Оксиды азота	Диоксид серы	Оксид углерода	Углеводороды
Мазут, кг/т.	$1{,}2A^р$	12,4	$19S$	$4{,}8 \cdot 10^{-3}$	0,38
Природный газ, кг/тыс. $м^3$	$2{,}4 \cdot 10^{-3}$	6,24	—	Следы	Следы

Общеобменная вентиляция кузнечно-прессового цеха выбрасывает в атмосферу оксиды углерода и азота, диоксид серы. От пролетов с молотами выбросы оксида углерода на 1 т мазута составляют 7 кг, диоксида серы — 5,2; от пролетов с прессами и ковочными машинами — 3 и 2,2 кг.

Вентиляционный воздух, выбрасываемый из **термических цехов**, обычно загрязнен парами и продуктами горения масла, аммиаком, циановодородом и другими веществами, поступающими в систему местной вытяжной вентиляции от ванн и агрегатов для термической обработки. Источниками загрязнений в термических цехах являются нагревательные печи, работающие на жидком и газообразном топливе, а также дробеструйные и дробеметные камеры. Концентрация пыли в воздухе, удаляемом из дробеструйных и дробеметных камер, где металл очищается после термической обработки, достигает 2...7 г/$м^3$. При закалке и отпуске деталей в масляных ваннах в отводимом от ванн воздухе содержится до 1 % паров масла от массы металла. При цианировании выделяется до 6 г/ч циановодорода на один агрегат цианирования.

В воздухе, удаляемом из **гальванических цехов**, вредные вещества находятся в виде тонкодиспресного тумана, паров и газов. Наиболее

интенсивно вредные вещества выделяются в процессах кислотного и щелочного травления.

Масса вредных веществ, выделяющихся при травлении с поверхности зеркала ванны (мг/мин), $m = m_{уд}S$, где $m_{уд}$ — интенсивность выделения вредных веществ с единицы площади зеркала ванны, мг/(м^2 · мин); S — площадь зеркала ванны, м^2.

Так, при травлении стали 20 в 15 %-м растворе серной кислоты при температуре 70°С выделяются пары и туман кислоты в количестве до 200, а при травлении стали 10 в 20 %-м растворе соляной кислоты — 26 000 мг/(м^2 · мин).

При нанесении гальванических покрытий (воронении, фосфатировании, анодировании и т. д.) образуются различные вредные вещества. Так, при фосфатировании изделий выделяется фтороводород, концентрация которого в отводимом воздухе достигает 1,2...15 г/м^3. Концентрации кислот, оксидов хрома, циановодорода и др. в удаляемом от гальванических ванн воздухе колеблются в значительных пределах, что требует специальной очистки воздуха перед выбросом в атмосферу. При проведении подготовительных операций в гальванических цехах (механической очистке и обезжиривании поверхностей) выделяются пыль, пары бензина, керосина, трихлорэтилена, туманы щелочей. Анализ дисперсного состава туманов показал, что размер частиц находится в пределах 5...6 мкм при травлении, 8...10 мкм при хромировании и 5...8 мкм при цинковании.

Механическая обработка металлов на станках сопровождается выделением пыли, туманов, масел и эмульсий, которые через вентиляционную систему выбрасываются из помещений. Значительное выделение пыли наблюдается при механической обработке древесины, стеклопластика, графита и других неметаллических материалов. Так, при обработке текстолита выделение пыли составляет (г/ч) на токарных станках — 50...80; на фрезерных — 100...120; на зубофрезерных — 20...40.

При механической обработке полимерных материалов одновременно с пылью могут выделяться пары различных химических веществ и соединений (фенола, формальдегида, стирола и др.), входящих в состав обрабатываемых материалов.

На **участках сварки и резки** металлов состав и масса выделяющихся вредных веществ зависит от вида и режимов технологического процесса, свойств применяемых сварочных и свариваемых материалов. Наибольшие выделения вредных веществ характерны для процесса ручной дуговой сварки покрытыми электродами: при расходе 1 кг электродов в процессе сварки стали образуется до 40 г пыли, 2 г фтороводорода, 1,5 г оксидов углерода и азота; при сварке чугунов — до

45 г пыли и 1,9 г фтороводорода. При полуавтоматической и автоматической сварке (в защитной среде и без нее) общая масса выделяемых вредных веществ меньше в 1,5...2 раза, а при сварке под флюсом — в 4...6 раз.

Сварочная пыль на 99 % состоит из частиц размером 10^{-3}...1 мкм, около 1 % — 1...5 мкм, частицы размером более 5 мкм составляют всего десятые доли процента. Химический состав выделяющихся при сварке загрязнений зависит в основном от состава сварочных материалов (проволоки, покрытий, флюсов) и в меньшей степени от состава свариваемых металлов. В состав сварочного аэрозоля входят соединения хрома, марганца, фториды и др. Валовые выделения вредных веществ при сварке находят в расчете на 1 кг расходуемых сварочных материалов.

Газовая и плазменная резка металлов сопровождается выделением пыли и вредных газов. Пыль представляет собой конденсат оксидов металлов, размер частиц которого не превышает 2 мкм. Химический состав пыли определяется главным образом маркой разрезаемого материала. При резке обычно выделяются токсичные соединения хрома и никеля, марганец, вредные газы — оксид углерода и оксиды азота, а при плазменной резке образуется еще и озон.

Для приближенной оценки массы (г) токсичных веществ, входящих в состав пыли и выделяющихся при резке 1 м металла при толщине листа δ, мм, можно использовать следующие соотношения:

Оксиды алюминия при плазменной резке сплавов алюминия .	1,28
Оксиды титана при газовой резке титановых сплавов . . .	3δ
Оксиды железа при газовой резке легированной стали. . .	0,25δ
Марганец* при газовой резке легированной стали	0,25δ Mn/100
Оксиды хрома* при резке высоколегированной стали . . .	0,065δ Cr/100

В вентиляционный воздух на участках пайки и лужения выделяются токсичные газы (оксид углерода, фтороводород), аэрозоли (свинец и его соединения) и т. п. Удельные выделения аэрозоля свинца (размер частиц 0,7...7 мкм) при лужении и пайке оловянно-свинцовыми припоями ПОС-40 и ПОС-61 при пайке электропаяльниками мощностью 20—60 Вт составляют 0,02—0,04 мг/100 паек; при лужении погружением в припой (отнесено к поверхности ванны) — 300...500 мг/($м^2$ · ч); при лужении и пайке волной (отнесено к поверхности волны) — 3000...5000 мг/($м^2$ · ч).

* Mn, Cr — содержание марганца и хрома в стали, %.

В **окрасочных цехах** токсичные вещества выделяются при обезжиривании поверхностей органическими растворителями перед окраской, подготовке лакокрасочных материалов, нанесении их на поверхность изделий и сушке покрытия. Воздух, удаляемый вентиляционными отсосами от окрасочных камер, напольных решеток, сушильных установок и других устройств, всегда загрязнен парами растворителей, а при окраске распылением, кроме того, окрасочным аэрозолем. При окраске изделий порошковыми полимерными материалами в вентиляционном воздухе содержится пыль.

Концентрации вредных веществ в вентиляционных выбросах, удаляемых от мест окраски, зависят от состава и расхода лакокрасочных материалов, способа их нанесения на окрашиваемую поверхность, устройства вентиляции, окрасочного оборудования, метода окрашивания. В вентиляционных выбросах окрасочных цехов могут содержаться окрасочный аэрозоль (до 1 г/м^3) и пары растворителей (до 10 г/м^3).

Масса паров растворителей, выбрасываемых в атмосферу от окрасочного и сушильного оборудования,

$$m = m_1 k_1 k_2 k_3 (1 - \eta_р),$$

где m_1 — расход лакокрасочных материалов, г/ч; k_1 — доля растворителей в лакокрасочных материалах (при покрытии лаком в лакокрасочных машинах k_1 равен 0,6 и 0,8 соответственно для металлических и деревянных изделий); k_2 — коэффициент, учитывающий количество выделяющегося растворителя из лакокрасочного материала за время окраски и сушки (для камер окраски распылением k_2 = 0,3, для сушильных установок 0,7); k_3 — коэффициент, учитывающий поступление паров растворителей в рабочую зону (обычно 2...3 %); k_3 = 0,975; $\eta_р$ — эффективность улавливания паров растворителей в системе очистки вентиляционных выбросов (для гидрофильтров 0,3...0,35).

Масса выбросов аэрозоля от окрасочного оборудования с вентиляционным воздухом в атмосферу

$$m_а = m_1 k_4 k_5 (1 - \eta_а),$$

где k_4 — доля лакокрасочных материалов, расходуемых на образование окрасочного аэрозоля; зависит от способа распыления краски; k_5 — коэффициент, учитывающий поступление окрасочного аэрозоля в рабочую зону; обычно $k_5 = k_3$; $\eta_а$ — эффективность улавливания окрасочного аэрозоля гидрофильтрами; обычно 0,92...0,98.

Значения k_1 и k_4 для различных способов окраски металлических изделий приведены ниже:

	k_1	k_4
Распыление:		
пневматическое	0,4	0,3
безвоздушное.	0,22	0,25
Электроосаждение.	0,1	—
Окунание	0,35	—
Струйный облив.	0,25	—

Энергетические установки. Много загрязняющих веществ поступает в атмосферный воздух от энергетических установок, работающих на углеводородном топливе (бензине, керосине, дизельном топливе, мазуте, угле и др.). Количество этих веществ определяется составом, массой сжигаемого топлива и организацией процесса сгорания.

Основными источниками загрязнения атмосферы являются транспортные средства с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) и тепловые электрические станции (ТЭС).

Основные вещества, выбрасываемые в атмосферу при сжигании различных видов топлива в энергоустановках,— нетоксичные диоксид углерода и водяной пар. Однако, кроме них, в атмосферу выбрасываются и вредные вещества, такие как оксид углерода, оксиды серы, азота, соединения свинца, сажа, углеводороды, в том числе канцерогенный бенз(а)пирен, несгоревшие частицы твердого топлива и т. п.

При сжигании твердого топлива в котлах ТЭС образуется большое количество золы, диоксида серы, оксидов азота. Например, подмосковные угли имеют в своем составе 2,5...6,0 % серы и 30...50 % золы. Материальный баланс современной угольной ТЭС показан на рис. 10.1.

Перевод котлов на жидкое топливо (мазут) существенно уменьшает образование золы, но практически не снижает выбросы диоксида серы, так как мазуты, применяемые в качестве топлива, содержат 2 % и более серы. Дымовые газы, образующиеся при сжигании мазута, содержат, кроме того, оксиды азота, газообразные и твердые продукты неполного сгорания. Так же как и при сгорании твердого топлива, отходящие газы содержат соединения тяжелых металлов. При сжигании природного газа в дымовых выбросах содержатся оксиды азота.

Исследования показывают, что вблизи электростанции, выбрасывающей в сутки 280...360 т диоксида серы, максимальные концентрации его с подветренной стороны на расстоянии 200...500, 500...1000 и 1000...2000 м составляют соответственно 0,3...4,9; 0,7...5,5 и 0,22...2,8 мг/м^3.

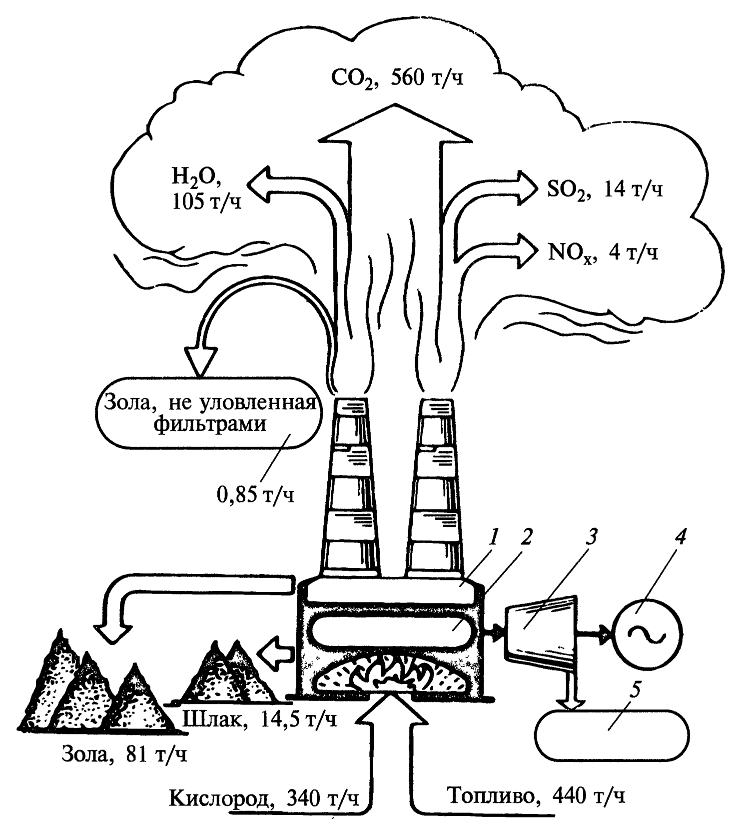


Рис. 10.1. Материальный баланс современной угольной ТЭС мощностью 1000 МВт с эффективностью очистки выбросов от твердых веществ 0,99: *1* — электрофильтр; *2* — парогенератор; *3* — турбина; *4* — генератор; *5* — конденсатор

Автомобильный транспорт также является источником загрязнения атмосферы. Так как число автомобилей непрерывно возрастает, особенно в крупных городах, то растет и валовой выброс вредных продуктов в атмосферу. Автотранспорт относится к движущимся источникам загрязнения, широко встречающимся в жилых районах и местах отдыха.

Токсичными выбросами ДВС являются отработавшие и картерные газы, пары топлива из карбюратора и топливного бака. Основная доля токсичных примесей поступает в атмосферу с отработавшими газами ДВС. С картерными газами и парами топлива в атмосферу поступает ~ 45 % углеводородов от их общего выброса.

Исследования состава отработавших газов ДВС показывают, что в них содержится несколько десятков компонентов, основные из которых приведены в табл. 10.1. Диоксид серы образуется в отработавших газах в том случае, когда сера содержится в исходном топливе (дизельное топливо).

Анализ данных, приведенных в табл. 10.1, показывает, что наибольшей токсичностью обладает выхлоп карбюраторных ДВС за счет большого выброса оксида углерода, оксидов азота, углеводородов и др. Дизельные ДВС выбрасывают в больших количествах сажу, которая в чистом виде нетоксична. Однако частицы сажи, обладая высокой адсорбционной способностью, несут на своей поверхности частицы токсичных веществ, в том числе и канцерогенных. Сажа может длительное время находиться во взвешенном состоянии в воздухе, увеличивая время воздействия токсичных веществ на человека.

Таблица 10.1. **Состав отработавших газов ДВС**

Компонент	Объемная доля компонента, %		Примечание
	карбюраторные ДВС	дизельные	
Азот	74...77	76...78	Не токсичны
Кислород	0,3...8	2...18	
Пары воды	3,0...5,5	0,5...4,0	
Диоксид углерода	5,0...12,0	1,0...10,0	
Водород	0...5,0	—	
Оксид углерода	0,5...12,0	0,01...0,50	Токсичны
Оксиды азота (в пересчете на N_2O_5)	До 0,8	0,0002...0,5	
Углеводороды	0,2...3,0	0,009...0,5	
Альдегиды	До 0,2 мг/л	0,001...0,09 мг/л	
Сажа	0...0,04 г/м^3	0,01...1,1 г/м^3	
Бенз(а)пирен	10...20 мкг/м^3	До 10 мкг/м^3	

Состав отработавших газов ДВС зависит от режима работы двигателя. У двигателя, работающего на бензине, при неустановившихся режимах (разгоне, торможении) нарушаются процессы смесеобразования, что способствует повышенному выделению токсичных продуктов. В дизелях с уменьшением нагрузки содержание токсичных компонентов отработавших газах уменьшается, а при работе на режиме максимальной нагрузки возрастает за счет роста выбросов оксида углерода, оксидов азота и углеводородов.

Количество вредных веществ, поступающих в атмосферу в составе отработавших газов, зависит от общего технического состояния ав-

томобилей и особенно от двигателя — источника наибольшего загрязнения. Так, при нарушении регулировки карбюратора выбросы оксида углерода увеличиваются в 4...5 раз. Применение этилированного бензина, имеющего в своем составе соединения свинца, вызывает загрязнение атмосферного воздуха весьма токсичными соединениями свинца. Около 70 % свинца, добавленного к бензину с этиловой жидкостью, попадает в виде соединений в атмосферу с отработавшими газами, из них 30 % оседает на земле сразу за срезом выпускной трубы автомобиля, 40 % остается в атмосфере. Один грузовой автомобиль средней грузоподъемности выделяет 2,5...3 кг свинца в год. Концентрация свинца в воздухе зависит от содержания свинца в бензине:

Концентрация свинца в бензине, г/л	0,15	0,20	0,25	0,50
Концентрация свинца в воздухе, мкг/м^3	0,40	0,50	0,55	1,00

Исключить поступление высокотоксичных соединений свинца в атмосферу можно заменой этилированного бензина неэтилированным.

10.1.2. Средства защиты атмосферы

Требования к выбросам в атмосферу. Средства защиты атмосферы должны ограничивать наличие вредных веществ в воздухе среды обитания человека на уровне не выше ПДК. Во всех случаях должно соблюдаться условие

$$C + c_ф \leq ПДК \qquad (10.2)$$

по каждому вредному веществу ($c_ф$ — фоновая концентрация), а при наличии нескольких вредных веществ однонаправленного действия — условие (0.2). Соблюдение этих требований достигается локализацией вредных веществ в месте их образования, отводом из помещения или от оборудования и рассеиванием в атмосфере. Если при этом концентрации вредных веществ в атмосфере превышают ПДК, то применяют очистку выбросов от вредных веществ в аппаратах очистки, установленных в выпускной системе. Наиболее распространены вентиляционные, технологические и транспортные выпускные системы.

На практике реализуются следующие варианты защиты атмосферного воздуха:

— вывод токсичных веществ из помещений общеобменной вентиляцией;

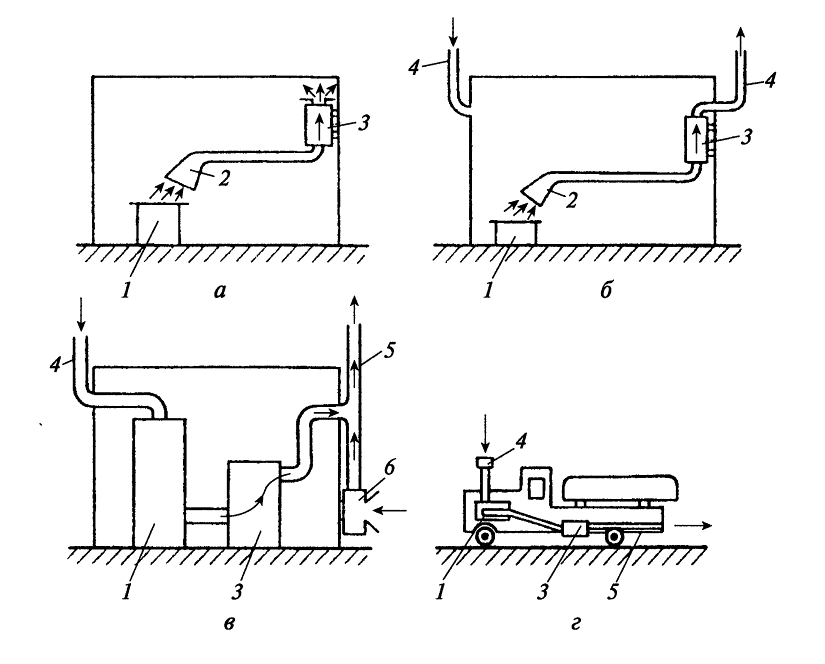


Рис. 10.2. Схемы использования средств защиты атмосферы:

1 — источник токсичных веществ; *2* — устройство для локализации токсичных веществ (местный отсос); *3* — аппарат очистки; *4* — устройство для забора воздуха из атмосферы; *5* — труба для рассеивания выбросов; *6* — устройство (воздуходувка) для подачи воздуха на разбавление выбросов

— локализация токсичных веществ в зоне их образования местной вентиляцией, очистка загрязненного воздуха в специальных аппаратах и его возврат в производственное или бытовое помещение, если воздух после очистки в аппарате соответствует нормативным требованиям к приточному воздуху (рис. 10.2, *а*);

— локализация токсичных веществ в зоне их образования местной вентиляцией, очистка загрязненного воздуха в специальных аппаратах, выброс и рассеивание в атмосфере (см. рис. 10.2, *б*);

— очистка технологических газов выбросов в специальных аппаратах, выброс и рассеивание в атмосфере; в ряде случаев перед выбросом отходящие газы разбавляют атмосферным воздухом (см. рис. 10.2, *в*);

— очистка отработавших газов энергоустановок, например двигателей внутреннего сгорания в специальных агрегатах, и выброс в атмосферу или производственную зону (рудники, карьеры, складские помещения и т. п.) (см. рис. 10.2, *г*).

Для соблюдения ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест устанавливают предельно допустимый выброс

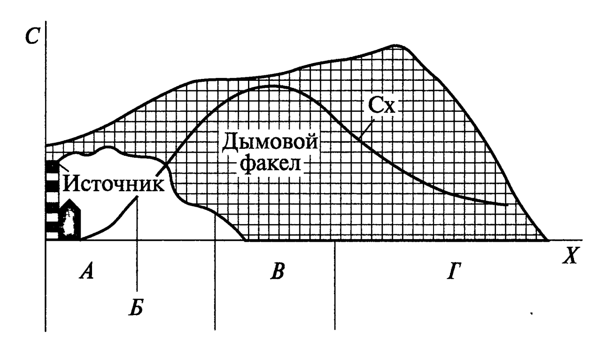


Рис. 10.3. Распределение концентрации вредных веществ в атмосфере у земной поверхности от организованного высокого источника выбросов:

А — зона неорганизованного загрязнения; *Б* — зона переброса факела; *В* — зона задымления; *Г* — зона постепенного снижения уровня загрязнения

(ПДВ) вредных веществ из систем вытяжной вентиляции, различных технологических и энергетических установок.

В соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.3.02—78 для каждого проектируемого и действующего промышленного предприятия устанавливается ПДВ вредных веществ в атмосферу при условии, что выбросы вредных веществ от данного источника в совокупности с другими источниками (с учетом перспективы их развития) не создадут приземную концентрацию, превышающую ПДК.

Рассеивание выбросов в атмосфере. Технологические газы и вентиляционный воздух после выхода из труб или вентиляционных устройств подчиняются законам турбулентной диффузии. На рис. 10.3 показано распределение концентрации вредных веществ в атмосфере под факелом организованного высокого источника выброса. По мере удаления от трубы в направлении распространения промышленных выбросов можно условно выделить три зоны загрязнения атмосферы: переброса факела выбросов *Б*, характеризующаяся относительно невысоким содержанием вредных веществ в приземном слое атмосферы; задымления *В* с максимальным содержанием вредных веществ и постепенного снижения уровня загрязнения *Г*. Зона задымления наиболее опасна для населения и должна быть исключена из селитебной застройки. Размеры этой зоны в зависимости от метеорологических условий находятся в пределах 10...49 высот трубы.

Максимальная концентрация примесей в приземной зоне пропорциональна производительности источника и обратно пропорциональна квадрату его высоты над землей. Подъем горячих струй почти полностью обусловлен подъемной силой газов, имеющих более высокую температуру, чем окружающий воздух. Повышение температуры

и момента количества движения выбрасываемых газов приводит к увеличению подъемной силы и снижению их приземной концентрации.

Распространение газообразных примесей и пылевых частиц диаметром менее 10 мкм, имеющих незначительную скорость осаждения, подчиняется общим закономерностям. Для более крупных частиц эта закономерность нарушается, так как скорость их осаждения под действием силы тяжести возрастает. Поскольку при очистке от пыли крупные частицы улавливаются, как правило, легче, чем мелкие, в выбросах остаются очень мелкие частицы; их рассеивание в атмосфере рассчитывают так же, как и газовые выбросы.

В зависимости от расположения и организации выбросов источники загрязнения воздушного пространства подразделяют на затененные и незатененные, линейные и точечные. Точечными источники считают тогда, когда удаляемые загрязнения сосредоточены в одном месте. К ним относят выбросные трубы, шахты, крышные вентиляторы и другие источники. Выделяющиеся из них вредные вещества при рассеивании не накладываются одно на другое на расстоянии двух высот здания $H_{зд}$. Линейные источники имеют значительную протяженность в направлении, перпендикулярном ветру. Это аэрационные фонари, открытые окна, близко расположенные вытяжные шахты и крышные вентиляторы.

Незатененные, или высокие, источники свободно расположены в недеформированном потоке ветра. К ним относят высокие трубы, а также точечные источники, удаляющие загрязнения на высоту, превышающую 2,5 $H_{зд}$. Затененные, или низкие, источники расположены в зоне подпора или аэродинамической тени, образующейся на здании или за ним (в результате обдувания его ветром) на высоте до $h \leq 2,5\ H_{зд}$.

Основным документом, регламентирующим расчет рассеивания и определения приземных концентраций выбросов промышленных предприятий, является «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД—86». Эта методика позволяет решать задачи по определению ПДВ при рассеивании через одиночную незатененную трубу, при выбросе через низкую затененную трубу и при выбросе через фонарь из условия обеспечения ПДК в приземном слое воздуха.

При определении ПДВ примеси от расчетного источника необходимо учитывать ее концентрацию $c_ф$ в атмосфере, обусловленную выбросами от других источников. Для случая рассеивания нагретых выбросов через одиночную незатененную трубу

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - c_{\text{ф}})H^2\sqrt[3]{Q\Delta T}}{Ak_F mn}$$ (10.3)

где H — высота трубы; Q — объем расходуемой газовоздушной смеси, выбрасываемой через трубу; ΔT — разность между температурой выбрасываемой газовоздушной смеси и температурой окружающего атмосферного воздуха, равной средней температуре самого жаркого месяца в 13 ч; A — коэффициент, зависящий от температурного градиента атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредностей; k_F — коэффициент, учитывающий скорость оседания взвешенных частиц выброса в атмосфере; m и n — безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовоздушной смеси из устья трубы.

Оборудование для очистки выбросов. В тех случаях, когда реальные выбросы превышают ПДВ, необходимо в системе выброса использовать аппараты для очистки газов от примесей.

Аппараты очистки вентиляционных и технологических выбросов в атмосферу делятся на: пылеуловители (сухие, электрические, фильтры, мокрые); туманоуловители (низкоскоростные и высокоскоростные); аппараты для улавливания паров и газов (абсорбционные, хемосорбционные, адсорбционные и нейтрализаторы); аппараты многоступенчатой очистки (уловители пыли и газов, уловители туманов и твердых примесей, многоступенчатые пылеуловители). Их работа характеризуется рядом параметров. Основными из них являются эффективность очистки, гидравлическое сопротивление и потребляемая мощность.

Эффективность очистки

$$\eta = (c_{\text{вх}} - c_{\text{вых}})/c_{\text{вх}},$$ (10.4)

где $c_{\text{вх}}$ и $c_{\text{вых}}$ — массовые концентрации примесей в газе до и после аппарата.

В ряде случаев для пылей используется понятие фракционной эффективности очистки

$$\eta_i = (c_{\text{вх}i} - c_{\text{вых}i})/c_{\text{вх}i},$$

где $c_{\text{вх}i}$ и $c_{\text{вых}i}$ — массовые концентрации i-й фракции пыли до и после пылеуловителя.

Для оценки эффективности процесса очистки также используют коэффициент проскока веществ K через аппарат очистки:

$$K = c_{\text{вых}}/c_{\text{вх}}.$$ (10.5)

Как следует из формул (10.4) и (10.5), коэффициент проскока и эффективность очистки связаны соотношением $K = 1 - \eta$.

Гидравлическое сопротивление аппаратов очистки Δp определяют как разность давлений газового потока на входе аппарата $p_{вх}$ и выходе $p_{вых}$ из него. Значение Δp находят экспериментально или рассчитывают по формуле

$$\Delta p = p_{вх} - p_{вых} = \xi \rho W^2/2, \qquad (10.6)$$

где ξ — коэффициент гидравлического сопротивления аппарата; ρ и W — плотность и скорость газа в расчетном сечении аппарата.

Если в процессе очистки гидравлическое сопротивление аппарата изменяется (обычно увеличивается), то необходимо регламентировать его начальное $\Delta p_{нач}$ и конечное значение $\Delta p_{кон}$. При достижении $\Delta p = \Delta p_{кон}$ процесс очистки нужно прекратить и провести регенерацию (очистку) аппарата. Последнее обстоятельство имеет принципиальное значение для фильтров. Для фильтров $\Delta p_{кон} = (2...5)\Delta p_{нач}$.

Мощность N побудителя движения газов определяется гидравлическим сопротивлением и объемным расходом Q очищаемого газа:

$$N = k\Delta p Q/(\eta_м \eta_в),$$

где k — коэффициент запаса мощности, обычно $k = 1{,}1...1{,}15$; $\eta_м$ — КПД передачи мощности от электродвигателя к вентилятору; обычно $\eta_м = 0{,}92...0{,}95$; $\eta_в$ — КПД вентилятора; обычно $\eta_в = 0{,}65...0{,}8$.

Широкое применение для очистки газов от частиц получили *сухие пылеуловители* — циклоны (рис. 10.4) различных типов. Газовый поток вводится в циклон через патрубок *2* по касательной к внутренней поверхности корпуса *1* и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру *4*. Под действием центробежной силы частицы пыли образуют на стенке циклона пылевой слой, который вместе с частью газа попадает в бункер. Отделение частиц пыли от газа, попавшего в бункер, происходит при повороте газового потока в бункере на 180°. Освободившись от пыли, газовый поток образует вихрь и выходит из бункера, давая начало вихрю газа, покидающему циклон через выходную трубу *3*. Для нормальной работы циклона необходима герметичность бункера. Если

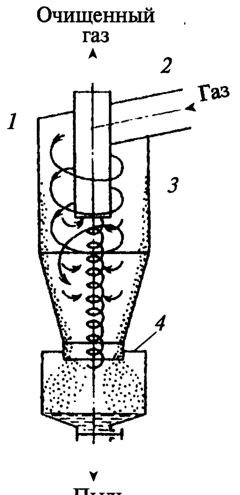


Рис. 10.4. Схема циклона

бункер негерметичен, то из-за подсоса наружного воздуха происходит вынос пыли с потоком через выходную трубу.

Многие задачи по очистке газов от пыли с успехом решаются цилиндрическими (ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24, ЦП-2) и коническими (СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М и СДК-ЦН-33) циклонами НИИОГАЗа. Цилиндрические циклоны НИИОГАЗа предназначены для улавливания сухой пыли аспирационных систем. Их рекомендуется использовать для предварительной очистки газов и устанавливать перед фильтрами или электрофильтрами.

Конические циклоны НИИОГАЗа серии СК, предназначенные для очистки газа от сажи, обладают повышенной эффективностью по сравнению с циклонами типа ЦН, что достигается за счет большего гидравлического сопротивления циклонов серии СК.

Для очистки больших масс газов применяют батарейные циклоны, состоящие из большого числа параллельно установленных циклонных элементов. Конструктивно они объединяются в один корпус и имеют общий подвод и отвод газа. Опыт эксплуатации батарейных циклонов показал, что эффективность очистки у таких циклонов несколько ниже эффективности отдельных элементов из-за перетока газов между циклонными элементами. Методика расчета циклонов приведена в работе [16].

Электрическая очистка (электрофильтры) — один из наиболее совершенных видов очистки газов от взвешенных в них частиц пыли и тумана. Этот процесс основан на ударной ионизации газа, передаче заряда ионов частицам примесей и осаждении последних на осадительных и коронирующих электродах. Для этого применяют электрофильтры.

Аэрозольные частицы, поступающие в зону между коронирующим *1* и осадительным *2* электродами (рис. 10.5), адсорбируют на своей поверхности ионы, приобретая электрический заряд, и получают тем самым ускорение, направленное в сторону электрода с зарядом противоположного знака. Процесс зарядки частиц зависит от подвижности ионов, траектории движения и времени пребывания частиц в зоне коронирующего заряда. Учитывая, что в воздухе и дымовых газах подвижность отрицательных ионов выше, чем положительных, электрофильтры обычно делают с короной отрицательной полярности. Время зарядки аэрозольных частиц невелико и измеряется долями секунды. Движение заряженных частиц к осадительному

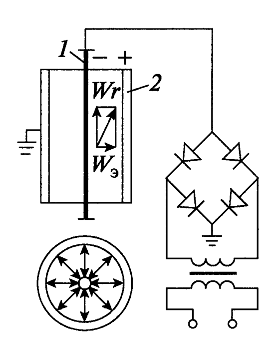


Рис. 10.5. Схема электрофильтра

электроду происходит под действием аэродинамических сил и силы взаимодействия электрического поля и заряда частицы.

Большое значение для процесса осаждения пыли на электродах имеет электрическое сопротивление слоев пыли. По величине электрического сопротивления различают:

1) пыли с малым удельным электрическим сопротивлением ($< 10^4$ Ом · см), которые при соприкосновении с электродом мгновенно теряют свой заряд и приобретают заряд, соответствующий знаку электрода, после чего между электродом и частицей возникает сила отталкивания, стремящаяся вернуть частицу в газовый поток; противодействует этой силе только сила адгезии; если она оказывается недостаточной, то резко снижается эффективность процесса очистки;

2) пыли с удельным электрическим сопротивлением от 10^4 до 10^{10} Ом · см; они хорошо осаждаются на электродах и легко удаляются с них при встряхивании;

3) пыли с удельным электрическим сопротивлением более 10^{10} Ом · см; они труднее всего улавливаются в электрофильтрах, так как на электродах частицы разряжаются медленно, что в значительной степени препятствует осаждению новых частиц.

В реальных условиях снижение удельного электрического сопротивления пыли можно осуществить увлажнением запыленного газа.

Определение эффективности очистки запыленного газа в электрофильтрах обычно проводят по формуле Дейча:

$$\eta = 1 - e^{-W_э F_{уд}}, \qquad (10.7)$$

где $W_э$ — скорость движения частицы в электрическом поле, м/с; $F_{уд}$ — удельная поверхность осадительных электродов, равная отношению поверхности осадительных элементов к расходу очищаемых газов, $м^2 \cdot с/м^3$. Из формулы (10.7) следует, что эффективность очистки газов зависит от показателя степени $W_э F_{уд}$:

$W_э F_{уд}$	3,0	3,7	3,9	4,6
η	0,95	0,975	0,98	0,99

Конструкцию электрофильтров определяют состав и свойства очищаемых газов, концентрация и свойства взвешенных частиц, параметры газового потока, требуемая эффективность очистки и т. д. В промышленности используют несколько типовых конструкций сухих и мокрых электрофильтров [16], применяемых для очистки технологических выбросов (рис. 10.6).

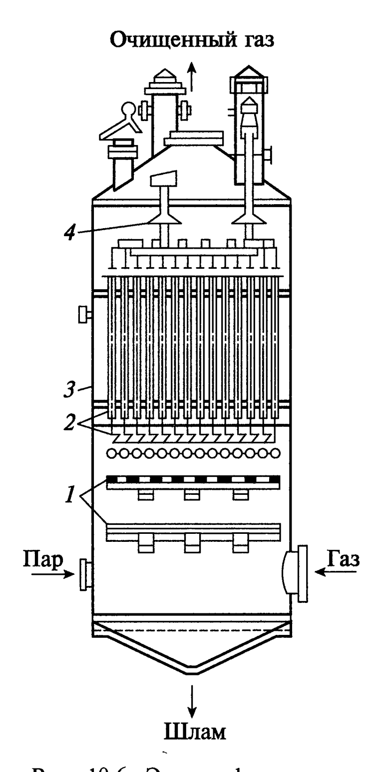


Рис. 10.6. Электрофильтр типа С для улавливания смол:

1 — распределительные решетки; *2* — осадительные и коронирующие электроды; *3* — корпус; *4* — смолоулавливающий зонт

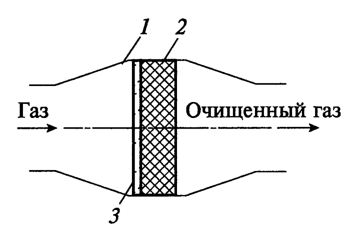


Рис. 10.7. Схема фильтра

Эксплуатационные характеристики электрофильтров весьма чувствительны к изменению равномерности поля скоростей на входе в фильтр. Для получения высокой эффективности очистки необходимо обеспечить равномерный подвод газа к электрофильтру путем правильной организации подводящего газового тракта и применения распределительных решеток во входной части электрофильтра.

Для тонкой очистки газов от частиц и капельной жидкости применяют различные *фильтры*. Процесс фильтрования состоит в задержании частиц примесей на пористых перегородках при движении через них дисперсных сред. Принципиальная схема процесса фильтрования в пористой перегородке показана на рис. 10.7. Фильтр представляет собой корпус *1*, разделенный пористой перегородкой (фильтроэлементом) *2* на две полости. В фильтр поступают загрязненные газы, которые очищаются при прохождении фильтроэлемента. Частицы примесей оседают на входной части пористой перегородки, образуя на поверхности перегородки слой *3*, и задерживаются в порах. Для вновь поступающих частиц этот слой становится частью фильтровой перегородки, что увеличивает эффективность очистки фильтра и перепад давления на фильтроэлементе. Осаждение частиц на поверхности пор фильтроэлемента происходит в результате совокупного действия эффекта касания, а также диффузионного, инерционного и гравитационного эффектов.

Классификация фильтров основана на типе фильтровой перегородки, конструкции фильтра и его назначении, тонкости очистки и др.

По типу перегородки фильтры бывают: с зернистыми слоями (неподвижные, свободно насыпанные зернистые материалы, псевдоожиженные слои); с гибкими пористыми перегородками (ткани, войлоки, волокнистые маты, губчатая резина, пенополиуретан и др.); с полужесткими пористыми перегородками (вязаные и тканые сетки, прессованные спирали и др.); с жесткими пористыми перегородками (пористая керамика, пористые металлы и др.).

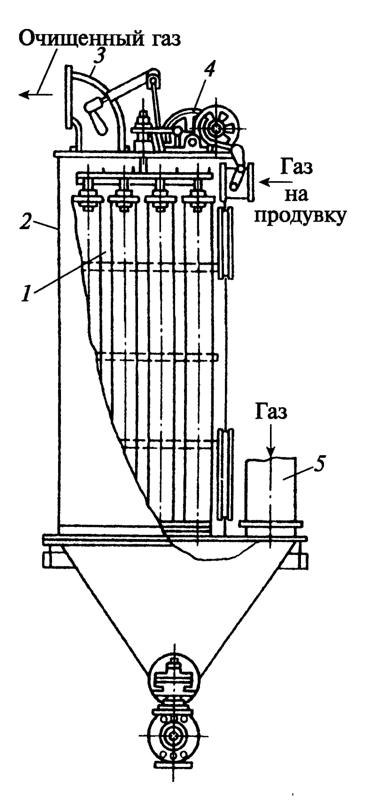


Рис. 10.8. Рукавный фильтр:

1 — рукав; *2* — корпус; *3* — выходной патрубок; *4* — устройство для регенерации; *5* — входной патрубок

Наибольшее распространение в промышленности для сухой очистки газовых выбросов получили рукавные фильтры (рис. 10.8).

Аппараты мокрой очистки газов — *мокрые пылеуловители* — имеют широкое распространение, так как характеризуются высокой эффективностью очистки от мелкодисперсных пылей с $d_ч \geq 0{,}3$ мкм, а также возможностью очистки от пыли нагретых и взрывоопасных газов. Однако мокрые пылеуловители обладают рядом недостатков, ограничивающих область их применения: образование в процессе очистки шлама, что требует специальных систем для его переработки; вынос влаги в атмосферу и образование отложений в отводящих газоходах при охлаждении газов до температуры точки росы; необходимость создания оборотных систем подачи воды в пылеуловитель.

Аппараты мокрой очистки работают по принципу осаждения частиц пыли на поверхность либо капель, либо пленки жидкости. Осаждение частиц пыли на жидкость происходит под действием сил инерции и броуновского движения.

Среди аппаратов мокрой очистки с осаждением частиц пыли на поверхность капель на практике более применимы скрубберы Вентури (рис. 10.9). Основная часть скруббера — сопло Вентури *2.* В его конфузорную часть подводится запыленный поток газа и через центробежные форсунки *1* жидкость на орошение. В конфузорной части сопла происходит разгон газа от входной скорости ($W_г$ = 15...20 м/с)

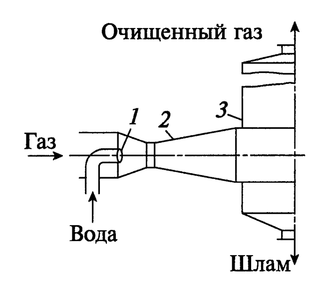


Рис. 10.9. Схема скруббера Вентури

до скорости в узком сечении сопла 80...200 м/с и более. Процесс осаждения пыли на капли жидкости обусловлен массой жидкости, развитой поверхностью капель и высокой относительной скоростью частиц жидкости и пыли в конфузорной части сопла. Эффективность очистки в значительной степени зависит от равномерности распределения жидкости по сечению конфузорной части сопла. В диффузорной части сопла поток тормозится до скорости 15...20 м/с и подается в каплеуловитель *3*. Каплеуловитель обычно выполняют в виде прямоточного циклона.

Скрубберы Вентури обеспечивают высокую эффективность очистки аэрозолей при начальной концентрации примесей до 100 г/м^3. Если удельный расход воды на орошение составляет 0,1...6,0 л/м^3, то эффективность очистки равна:

$d_ч$, мкм	1	5	10
η	0,70...0,90	0,90...0,98	0,94...0,99

Скрубберы Вентури широко используют в системах очистки газов от туманов. Эффективность очистки воздуха от тумана со средним размером частиц более 0,3 мкм достигает 0,999, что вполне сравнимо с высокоэффективными фильтрами.

К мокрым пылеуловителям относят барботажно-пенные пылеуловители с провальной (рис. 10.10, *а*) и переливной решетками (рис. 10.10, *б*). В таких аппаратах газ на очистку поступает под решетку *3*, проходит через отверстия в решетке и, барботируя через слой жидкости и пены *2*, очищается от пыли путем осаждения частиц на внутренней поверхности газовых пузырей. Режим работы аппаратов зависит от скорости подачи воздуха под решетку. При скорости до 1 м/с наблюдается барботажный режим работы аппарата. Дальнейший рост скорости газа в корпусе *1* аппарата до 2...2,5 м/с сопровождается возникновением пенного слоя над жидкостью, что приводит к повышению эффективности очистки газа и брызгоуноса из аппарата. Современные барботажно-пенные аппараты обеспечивают эффективность очистки газа от мелкодисперсной пыли ~ 0,95...0,96 при удельных расходах воды 0,4...0,5 л/м^3. Практика эксплуатации этих аппаратов показывает, что они весьма чувствительны к неравномерности подачи газа под провальные решетки. Неравномерная подача газа приво-

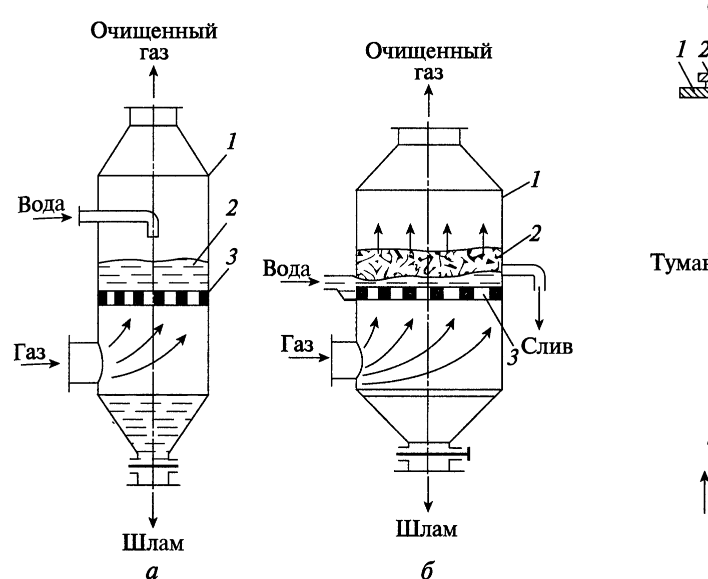


Рис. 10.10. Схема барботажно-пенного пылеуловителя с провальной (*а*) и переливной (*б*) решетками

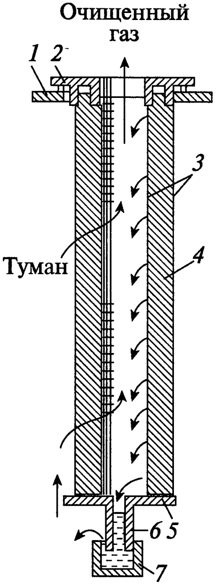


Рис. 10.11. Схема фильтрующего элемента низкоскоростного туманоуловителя

дит к местному сдуву пленки жидкости с решетки. Кроме того, решетки аппаратов склонны к засорению.

Для очистки воздуха от туманов кислот, щелочей, масел и других жидкостей используют волокнистые фильтры — *туманоуловители*. Принцип их действия основан на осаждении капель на поверхности пор с последующим стеканием жидкости по волокнам в нижнюю часть туманоуловителя. Осаждение капель жидкости происходит под действием броуновской диффузии или инерционного механизма отделения частиц загрязнителя от газовой фазы на фильтроэлементах в зависимости от скорости фильтрации $W_ф$. Туманоуловители делят на низкоскоростные($W_ф \leq 0{,}15$ м/с), в которых преобладает механизм диффузного осаждения капель, и высокоскоростные ($W_ф = 2...2{,}5$ м/с), где осаждение происходит главным образом под воздействием инерционных сил.

Фильтрующий элемент низкоскоростного туманоуловителя показан на рис. 10.11. В пространство между двумя цилиндрами *3*, изготовленными из сеток, помещают волокнистый фильтроэлемент *4*, который крепится с помощью фланца *2* к корпусу туманоуловителя *1*.

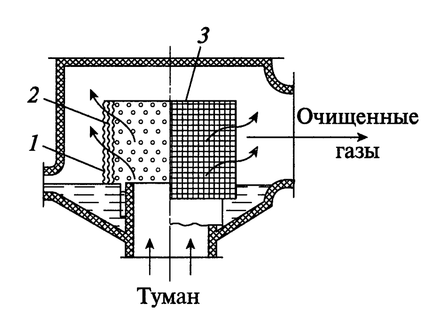


Рис. 10.12. Схема высокоскоростного туманоуловителя

Жидкость, осевшая на фильтроэлементе, стекает на нижний фланец *5* и через трубку гидрозатвора *6* и стакан *7* сливается из фильтра. Волокнистые низкоскоростные туманоуловители обеспечивают высокую эффективность очистки газа (до 0,999) от частиц размером менее 3 мкм и полностью улавливают частицы большего размера. Волокнистые слои формируются из стекловолокна диаметром 7...40 мкм. Толщина слоя составляет 5...15 см, гидравлическое сопротивление сухих фильтроэлементов — 200...1000 Па.

Высокоскоростные туманоуловители имеют меньшие размеры и обеспечивают эффективность очистки, равную 0,9...0,98 при Δp = 1500...2000 Па, от тумана с частицами 3 мкм. В качестве фильтрующей набивки в таких туманоуловителях используют войлоки из полипропиленовых волокон, которые успешно работают в среде разбавленных и концентрированных кислот и щелочей.

В тех случаях, когда диаметры капель тумана составляют 0,6...0,7 мкм и менее, для достижения приемлемой эффективности очистки приходится увеличивать скорость фильтрации до 4,5...5 м/с, что приводит к заметному брызгоуносу с выходной стороны фильтроэлемента (брызгоунос обычно возникает при скоростях 1,7...2,5 м/с). Значительно уменьшить брызгоунос можно применением брызгоуловителей в конструкции туманоуловителя. Для улавливания жидких частиц размером более 5 мкм применяют брызгоуловители из пакетов сеток, где захват частиц жидкости происходит за счет эффектов касания и инерционных сил. Скорость фильтрации в брызгоуловителях не должна превышать 6 м/с.

На рис. 10.12 показана схема высокоскоростного волокнистого туманоуловителя с цилиндрическим фильтрующим элементом *3*, который представляет собой перфорированный барабан с глухой крышкой. В барабане установлен грубоволокнистый войлок *2* толщиной 3...5 мм. Вокруг барабана по его внешней стороне расположен брыз-

гоуловитель *1*, представляющий собой набор перфорированных плоских и гофрированных слоев винилпластовых лент. Брызгоуловитель и фильтроэлемент нижней частью установлены в слой жидкости.

Для очистки аспирационного воздуха ванн хромирования, содержащего туман и брызги хромовой и серной кислот, применяют волокнистые фильтры типа ФВГ-Т. В корпусе размещена кассета с фильтрующим материалом — иглопробивным войлоком, состоящим из волокон диаметром 70 мкм, толщиной слоя 4...5 мм.

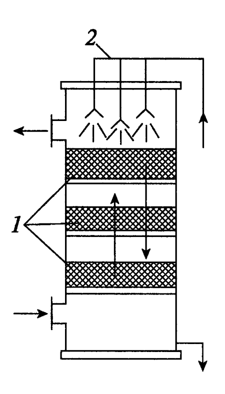


Рис. 10.13. Схема насадочной башни:
1 — насадка; *2* — разбрызгиватель

Метод абсорбции — очистка газовых выбросов от газов и паров — основан на поглощении последних жидкостью. Для этого используют *абсорберы*. Решающим условием для применения метода абсорбции является растворимость паров или газов в абсорбенте. Так, для удаления из технологических выбросов аммиака, хлоро- или фтороводорода целесообразно применять в качестве абсорбента воду. Для высокоэффективного протекания процесса абсорбции необходимы специальные конструктивные решения. Они реализуются в виде насадочных башен (рис. 10.13), форсуночных барботажно-пенных и других скрубберов.

Работа *хемосорберов* основана на поглощении газов и паров жидкими или твердыми поглотителями с образованием малорастворимых или малолетучих химических соединений. Основными аппаратами для реализации процесса являются насадочные башни, барботажно-пенные аппараты, скрубберы Вентури и т. п. Хемосорбция — один из распространенных методов очистки отходящих газов от оксидов азота и паров кислот. Эффективность очистки от оксидов азота составляет 0,17...0,86 и от паров кислот — 0,95.

Метод адсорбции основан на способности некоторых тонкодисперсных твердых тел селективно извлекать и концентрировать на своей поверхности отдельные компоненты газовой смеси. Для этого метода используют *адсорбенты*. В качестве адсорбентов, или поглотителей, применяют вещества, имеющие большую площадь поверхности на единицу массы. Так, удельная поверхность активированных углей достигает $10^5...10^6$ $м^2/кг$. Их применяют для очистки газов от органических паров, удаления неприятных запахов и газообразных примесей, содержащихся в незначительных количествах в промышленных выбросах, а также летучих растворителей и целого ряда дру-

гих газов. В качестве адсорбентов применяют также простые и комплексные оксиды (активированный глинозем, силикагель, активированный оксид алюминия, синтетические цеолиты или молекулярные сита), которые обладают большей селективной способностью, чем активированные угли.

Конструктивно адсорберы выполняют в виде емкостей, заполненных пористым адсорбентом, через который фильтруется поток очищаемого газа. Адсорберы применяют для очистки воздуха от паров растворителей, эфира, ацетона, различных углеводородов и т. п.

Адсорберы нашли широкое применение в респираторах и противогазах. Патроны с адсорбентом следует использовать строго в соответствии с условием эксплуатации, указанным в паспорте респиратора или противогаза.

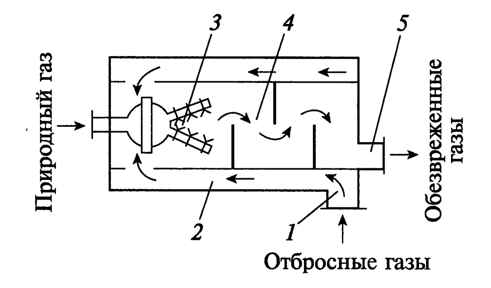
Несмотря на продолжающийся выпуск респираторов типа РПГ-67 [3] (ГОСТ 12.4.004—74) и большой спрос на них, они устарели. К настоящему времени разработан, испытан, сертифицирован и серийно производится газозащитный респиратор РПГ-01 серии КР Сорби (ГОСТ 12.4.193—99). Он состоит из полумаски ПР—99, оголовья с пластмассовым наголовником и пластмассовых противогазовых фильтров. В зависимости от назначения противогазовые фильтры этого респиратора делятся на марки (обозначено буквами) и классы (обозначено цифрами) защиты (табл. 10.2).

Таблица 10.2. **Показатели противогазовых фильтров респиратора РПГ-01**

Марка и класс противогазового фильтра респиратора РПГ-01	Цвет этикетки	Класс вредных веществ
A1	Коричневая	Органические газы и пары с температурой кипения выше 65°С
E1	Желтая	Кислые газы и пары
K1	Зеленая	Аммиак и его органические производные
A1K1	Коричнево-зеленая	Органические газы и пары с температурой кипения выше 65°С, аммиак и его органические производные
A1E1	Коричнево-желтая	Органические газы и пары с температурой кипения выше 65°С, кислые газы и пары
A1B1E1	Коричнево-серо-желтая	Органические газы и пары с температурой кипения выше 65°С, неорганические и кислые газы, пары
A1B1E1K1	Коричнево-серо-желто-зеленая	Органические газы и пары с температурой кипения выше 65°С, неорганические и кислые газы, пары, аммиак и его органические производные

Рис. 10.14. Схема установки для термического окисления:

1 — входной патрубок; *2* — теплообменник; *3* — горелка; *4* — камера; *5* — выходной патрубок



Испытаниями (ЗАО «Сорбент — Центр Внедрение» г. Пермь) установлено, что респираторы РПГ-01 по времени защитного действия и иным показателям не уступают зарубежным аналогам.

Термическая нейтрализация основана на способности горючих газов и паров, входящих в состав вентиляционных или технологических выбросов, сгорать с образованием менее токсичных веществ. Для этого метода используют нейтрализаторы. Различают три схемы термической нейтрализации: прямое сжигание; термическое окисление; каталитическое дожигание.

Прямое сжигание используют в тех случаях, когда очищаемые газы обладают значительной энергией, достаточной для поддержания горения. Примером такого процесса является факельное сжигание горючих отходов. Так нейтрализуют циановодород в вертикально направленных факелах на нефтехимических заводах. Разработаны схемы камерного сжигания отходов. Такие дожигатели можно использовать для нейтрализации паров токсичных горючих или окислителей при их сдувах из емкостей.

Термическое окисление находит применение в тех случаях, когда очищаемые газы имеют высокую температуру, но не содержат достаточно кислорода или когда концентрация горючих веществ незначительна и недостаточна для поддержания пламени.

В первом случае процесс термического окисления проводят в камере с подачей свежего воздуха (дожигание оксида углерода и углеводородов), а во втором — при подаче дополнительно природного газа. Схема устройства для термического окисления выбросов показана на рис. 10.14.

Каталитическое дожигание используют для превращения токсичных компонентов, содержащихся в отходящих газах, в нетоксичные или менее токсичные путем их контакта с катализаторами. Для реализации процесса необходимо кроме катализаторов поддержание таких параметров газового потока, как температура и скорость газов.

В качестве катализаторов используют платину, палладий, медь и др. Температуры начала каталитических реакций газов и паров изме-

нятся в широких пределах —200...400°C. Объемные скорости процесса каталитического дожигания обычно устанавливают в пределах 2000...6000 $ч^{-1}$ (объемная скорость — отношение скорости движения газов к объему катализаторной массы).

Каталитические нейтрализаторы применяют для обезвреживания оксида углерода, летучих углеводородов, растворителей, отработавших газов и т. п.

Термокаталитические реакторы с электроподогревом типа ТКРВ разработаны Дзержинским филиалом НИИОГАЗа. Они предназначены для очистки газовых выбросов сушильных камер окрасочных линий от органических веществ и других технологических производств.

Каталитическая нейтрализация отработавших газов ДВС на поверхности твердого катализатора происходит за счет химических превращений (реакции окисления или восстановления), в результате которых образуются безвредные или менее вредные для окружающей среды и здоровья человека соединения.

Для высокоэффективной очистки выбросов необходимо применять *аппараты многоступенчатой очистки.* В этом случае очищаемые газы последовательно проходят несколько автономных аппаратов очистки или один агрегат, включающий несколько ступеней очистки. В системе последовательно соединенных аппаратов общая эффективность очистки $\eta = (1 - \eta_1)(1 - \eta_2)...(1 - \eta_n)$, где $\eta_1, \eta_2, ..., \eta_n$ — эффективность очистки 1, 2 и n-го аппаратов.

Такие решения находят применение при высокоэффективной очистке газов от твердых примесей; при одновременной очистке от твердых и газообразных примесей; при очистке от твердых примесей и капельной жидкости и т. п. Многоступенчатую очистку широко применяют в системах очистки воздуха с его последующим возвратом в помещение (см. рис. 10.2, *а*).

Производство и применение очистного оборудования. Перечень пыле-, газо- и туманоочистного оборудования, разработанного НИИОГАЗом, приведен ниже:

Очистное оборудование НИИОГАЗа

Электрофильтр ЭГВ — Для очистки от пыли невзрывоопасных технологических газов и аспирационного воздуха с температурой до 330°C.

Электрофильтр ЭГАВ СРК — Для эффективной очистки от пыли невзрывоопасных и непожароопасных дымовых газов при температу-

ре от 130 до 250°C после котлоагрегатов СРК целлюлозно-бумажной промышленности.

Электрофильтр ЭВЦТ — Для очистки от пыли фосфорсодержащих газов с температурой от 230 до 600°C, отходящих от электротермических печей.

Электрофильтр ЭТМ — Для очистки газов, содержащих до 40 % туман и капли серной кислоты со следами окислов мышьяка, селена, серы и возможных примесей фтора и его соединений.

Электрофильтр ЭГАЛТ — Для очистки высокозапыленных (до 1000 г/м^3) высокотемпературных (до 500°C) агрессивных газов автогенных процессов цветной металлургии.

Электрофильтровентиляционный агрегат ЭФВА —Для отсоса и высокоэффективной очистки невзрывоопасной и непожароопасной смеси воздуха с аэрозолем, образующимся при сварке и холодной штамповке металлов при температуре очищаемой смеси до 60°C, разрежении не более 0,6 кПа.

Рукавный фильтр ФРОС — Для очистки от пыли высокотемпературных газов в химической, нефтехимической и других отраслях промышленности.

Рукавный фильтр ФРИД-Б — Для очистки запыленных газов, не являющихся токсичными, агрессивными, пожаро- и взрывоопасными в линиях высоконапорного пневмотранспорта химической, цементной и других отраслей промышленности.

Рукавный фильтр ФРИ-ЗО — Для очистки высокозапыленных газов, не являющихся токсичными, агрессивными, пожаро- и взрывоопасными, в системах аспирации и линиях пневмотранспорта химической, цементной, машиностроительной и других отраслей промышленности.

Рукавные фильтры ФРИ-Б, ФРИ-72 — Для очистки запыленного воздуха на предприятиях мукомольной, комбикормовой, пищевой промышленности.

Рукавный фильтр ФРБИ — Для улавливания мелкодисперсных взрывоопасных красителей, пигментов и других пылей из воздуха и негорючих газов.

Рукавный фильтр ФРМ — Для очистки от пыли аспирационного воздуха технологического оборудования и дымовых газов сушильных печей на предприятиях асбестовой промышленности.

Фильтры бумажные патронные ФБПИ — Для улавливания свинецсодержащих аэрозолей из вентиляционных выбросов, а также для очистки неагрессивных, нетоксичных, невзрывоопасных газов от химически неактивных, сухих нецементирующих пылей.

Волокнистый фильтр ФВГ-П — Для санитарной очистки аспирационного воздуха от аэрозольных растворимых в воде примесей в гальванических производствах машиностроительных предприятий.

Волокнистый фильтр ФВГ-М — Для санитарной очистки аспирационного воздуха от аэрозольных растворимых в воде примесей в гальванических производствах машиностроительных предприятий.

Волокнистый фильтр ФВЦ —180 — Для очистки воздуха или неагрессивных газов от масляного тумана, выбрасываемого вакуумными насосами в атмосферу.

Фильтры ротационные масляные вертикальные — Для отсоса и очистки воздуха от масляного тумана, выделяющегося при работе металлообрабатывающих станков с применением минеральных масел в качестве смазочно-охлаждающих жидкостей.

Агрегат АВЦР-2000 — Для отсоса и очистки воздуха от масляного тумана в цехах, оснащенных металлообрабатывающим оборудованием, работающим с применением смазочно-охлаждающих жидкостей на основе нефтяных минеральных масел.

Скруббер с шаровой насадкой СДК — Для очистки газов от фтористого водорода, тетрафторида кремния, фосфорного ангидрида на предприятиях по производству минеральных удобрений. Для очистки газов в цветной металлургии, энергетике, химической и других отраслях промышленности.

Скруббер центробежный вертикальный полый СЦВП — Для очистки воздуха, удаляемого вытяжными вентиляционными системами, от пыли средней дисперсности.

Скруббер полый СП — Для очистки технологических и вентиляционных выбросов от пыли и газообразных соединений фтора, хлора, сернистого ангидрида.

Скруббер полый СПК-Б — Для очистки технологических и вентиляционных выбросов производств по переработке сырья биологического происхождения от дурнопахнущих веществ, а также для улавливания пыли, газообразных соединений хлора, серы различных производств.

Центробежный скруббер батарейного типа СЦВБ-20 — Для мокрой очистки нетоксичных и невзрывоопасных газов от пыли в различных отраслях машиностроения, например в литейных производствах.

Скруббер Вентури СВ-Кк — Для охлаждения и тонкой очистки нетоксичных и невзрывоопасных газов от частиц пыли, не склонных к образованию отложений.

Труба Вентури ГВПВ — Для установки в системах охлаждения и тонкой очистки запыленных технологических газов в черной и цветной металлургии, химической и нефтяной промышленности, промышленности строительных материалов, энергетике и др.

Каплеуловитель КЦТ — Для улавливания капель жидкости с осевшими на них частицами пыли. Устанавливаются в технологической линии за трубами Вентури.

Конъюнктуру спроса и использования пылегазоочистного оборудования в различных отраслях промышленности можно проследить на примере рынка США. Расход (млн дол.) компаний США на защиту атмосферного воздуха в отдельных отраслях промышленности составили:

	1986 г.	**1988 г.**
Теплоэнергетика	1310	808
Нефтеперерабатывающая	459	656
Химическая	320	597
Горнодобывающая	178	57
Целлюлозно-бумажная	161	168
Металлургическая (черная и цветная)	65	94
Автомобильная	252	31
Машиностроение (общее)	69	88
Электротехническое машиностроение	111	36
Приборостроение	20	36

10.2. ЗАЩИТА ГИДРОСФЕРЫ

10.2.1. Состав и расчет выпусков сточных вод в водоемы

Основными источниками загрязнений водоемов являются производственные, бытовые и поверхностные сточные воды.

Производственные сточные воды образуются в результате использования воды в технологических процессах. Типовой состав примесей сточных вод представлен в табл. 10.3. Сточные воды сварочных, монтажных, сборочных, испытательных цехов содержат механические примеси, маслопродукты, кислоты и тому подобные вещества в значительно меньших концентрациях, чем в рассмотренных видах цехов и участков. Наибольшую опасность в машиностроении представляют стоки гальванического производства.

Таблица 10.3. **Состав сточных вод [3]**

Тип цеха, участка	Вид сточных вод	Основные примеси	Концентрация примесей, кг/м^3	Температура сточных вод, °C
Металлургические	От охлаждения печей	Взвешенные вещества	0,01...0,05	40...45
		Масла	0,01	
Литейные	От влажной газоочистки	Мелкодисперсная минеральная пыль	2...5	65
	От грануляторов стержневых смесей	Песок, частицы шлака	20...40	50
	От гидровыбивки отливок и регенерации смеси	Песок, окалина, глина	0,5...15	15...20
		Органические вещества	0,05	
Кузнечно-прессовые	От охлаждения поковок и оборудования	Взвешенные вещества минерального происхождения	0,1...0,2	30...40
		Окалина	5...8	
		Масла	10...15	
Механические	Отработанные смазочно-охлаждающие жидкости	Взвешенные вещества	0,2...1	15...20
		Сода	5...10	
		Масла	0,5...3	
	Из гидрокамер окрасочных отделений	Органические растворители	0,1...0,2	15...25
		Масла, краски	0,1...0,3	
	Из отделений гидравлических испытаний	Взвешенные вещества	0,1...0,2	15...20
		Масла	0,03...0,05	
Термические	Промывные растворы	Окалина	0,02...0,03	50...60
		Щелочи	0,02...0,03	
		Масла	0,01...0,02	
	Из закалочных ван	Взвешенные вещества минерального происхождения	0,05...0,25	30...40
		Тяжелые металлы	0,03...0,15	

Тип цеха, участка	Вид сточных вод	Основные примеси	Концентрация примесей, кг/м^3	Температура сточных вод, $^{\circ}$C
		Масла	0,001...0,01	
		Цианиды	0,002...0,05	
Травильные	Промывные воды	Механические	0,4	15...25
		Маслоэмульсии	0,05...0,1	
		Щелочи	0,02...0,2	
		Кислоты	0,02...0,25	
	Отработанные растворы	Механические	10...20	15...25
		Маслоэмульсии	10	
		Щелочи	20...30	
		Кислоты	30...50	
Гальванические	Промывные воды	Хром	0,005...0,2	20...30
		Циан	0,005...0,15	
	Отработанные электролиты	Тяжелые металлы	0...10	20...25
		Кислоты	0,04...20	
		Щелочи	0,02...30	
		Масла	0,02...0,05	
		Хром	5...200	
		Циан	10...100	

Состав загрязнений сточных вод других видов производств определяется в основном исходными материалами и видами технологических процессов, в которых используется вода. Например, сточные воды целлюлозно-бумажных предприятий содержат в основном органические вещества, кислоты, щелочи и их соли. Сточные воды нефтеперерабатывающих предприятий характеризуются большим содержанием нефтепродуктов и других видов органических веществ, включая трудноразлагаемые органические составляющие и т. п.

Бытовые сточные воды, образующиеся в раковинах, санитарных узлах, душевых и т. п., содержат крупные примеси (остатки пищи, тряпки, песок, фекалии и т. п.); примеси органического и минерального происхождения в нерастворенном, коллоидном и растворенном состояниях; различные, в том числе болезнетворные бактерии. Концентрация указанных примесей в бытовых сточных водах зависит от степени их разбавления водопроводной водой.

Поверхностные сточные воды образуются в результате смывания дождевыми, снеговыми и поливочными водами загрязнений, имеющихся на поверхности грунтов, на крышах и стенах зданий и т. п. Основными примесями поверхностных сточных вод являются механические частицы (земля, песок, камень, древесные и металлические стружки, пыль, сажа) и нефтепродукты (масла, бензин, керосин, используемые в двигателях транспортных средств).

При выборе схемы станции очистки и технологического оборудования необходимо знать расход сточных вод и концентрацию содержащихся в них примесей, а также допустимый состав сточных вод, сбрасываемых в водоемы. Допустимый состав сточных вод рассчитывают с учетом «Правил охраны поверхностных вод». Эти правила предназначены для предупреждения избыточного загрязнения сточными водами водных объектов. Правила устанавливают нормы на ПДК веществ, состав и свойства воды водоемов.

Расчет допустимой концентрации примесей в сточных водах, сбрасываемых в водоемы, проводят в зависимости от преобладающего вида примесей сточных вод и характеристик водоема.

При преобладающем содержании взвешенных веществ их допустимая концентрация в очищенных сточных водах

$$c_0 \le c_в + n\text{ПДК},$$

где $c_в$ — концентрация взвешенных веществ в воде водоема до сброса в него сточных вод, кг/м^3; n — кратность разбавления сточных вод в воде водоема, характеризующая часть расхода воды водоема, участвующую в процессе перемешивания и разбавления сточных вод; ПДК — предельно допустимая концентрация взвешенных веществ в воде водоема, кг/м^3.

При преобладающем содержании растворенных веществ допустимая концентрация каждого из них в очищенных сточных водах

$$c_{0i} \le n(c_{mi} - c_{вi}) + c_{вi},$$

где $c_{вi}$ — концентрация i-го вещества в воде водоема до сброса в него сточных вод, кг/м^3; c_{mi} — максимально допустимая концентрация того же вещества в воде водоема с учетом максимальных концентраций и ПДК всех веществ, относящихся к одной группе лимитирующих показателей вредности, кг/м^3:

$$c_{тi} = \text{ПДК}_i \left(1 - \sum_{i=1}^{i-1} \frac{c_{тi}}{\text{ПДК}_i}\right).$$

Кратность разбавления сточных вод в воде водоема

$$n = (c_0 - c_в)/(c - c_в),$$

где c_0 — концентрация загрязняющих веществ в сбрасываемых сточных водах, кг/м^3; $c_в$ и c — концентрации тех же веществ в воде водоема до и после сброса в них сточных вод, кг/м^3.

Для водоемов с направленным течением кратность разбавления

$$n = (Q_в + mQ_р)Q_в,$$

где $Q_в$ — объемный расход сточных вод, сбрасываемых в водоем с объемным расходом $Q_р$, м^3/ч; m — коэффициент смешения, показывающий долю расхода воды водоема, участвующей в процессе смешения:

$$m = \frac{1 - \exp(-k\sqrt[3]{L})}{1 + (Q_в / Q_р)\exp(-k\sqrt[3]{L})},$$

где $k = \psi\varphi\sqrt[3]{D_т / Q_р}$ — коэффициент, характеризующий гидравлические условия смешения, м$^{-1/3}$; ψ — коэффициент, характеризующий месторасположение выпуска сточных вод (для берегового выпуска $\psi = 1$; для выпуска в сечении русла $\psi = 1{,}5$); $\varphi = L/L_п$ — коэффициент извилистости русла; L — длина русла реки от сечения выпуска до расчетного створа, м; $L_п$ — расстояние между этими же параллельными сечениями в нормальном направлении, м; $D_т$ — коэффициент турбулентной диффузии в водоеме, м^2/с; $D_т = gHW/MC_ш$ (g — ускорение свободного падения, м/с^2; H — средняя глубина водоема по длине смешения, м; W — средняя по сечению водоема скорость течения на расстоянии L от места выпуска сточных вод, м/с; $C_ш = 40...44$ м^{0,5}/с — коэффициент Шези [1]; M — функция коэффициента Шези, равная 22,3).

Условия смешения сточных вод с водой озер и водохранилищ существенно отличаются от условий их смешения в реках и каналах. Концентрация примесей сточных вод в начальной зоне смешения уменьшается более существенно, однако полное их перемешивание происходит на значительно больших расстояниях от места выпуска, чем в реках и каналах. Расчет разбавления сточных вод в озерах и водохранилищах приведен в [16].

Обеспечение безопасности жизнедеятельности человека неразрывно связано с выполнением гигиенических требований к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения.

Существующие санитарные нормы применяют к воде, предназначенной для потребления населением в питьевых и бытовых целях, для использования в процессах переработки продовольственного сырья и

производства пищевых продуктов, их хранения и торговли, а также для производства продукции, требующей применения воды питьевого качества.

Качество питьевой воды, подаваемой системой водоснабжения, должно соответствовать требованиям СанПиН 2.1.4.559—96.

Основными параметрами качества питьевой воды являются: запах, привкус, цветность, мутность, pH, общая жесткость, общая минерализация, окисляемость перманганатная, допустимая концентрация взвешенных и растворенных веществ, а также эпидемиологические и радиационные показатели.

Для примера в табл. 10.4 приведены основные эпидемиологические показатели качества питьевой воды.

Таблица 10.4. **Эпидемиологические показатели качества питьевой воды**

Показатели	Единицы измерения	Нормативы
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Общее микробное число	Число образующих колоний бактерий в 1 мл	Не более 50
Колифаги	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	Отсутствие
Споры сульфитредуцирующих клостридий	Число спор в 20 мл	Отсутствие
Цисты лямблий	Число цист в 50 л	Отсутствие

Вышеуказанные Санитарные правила регламентируют также и организацию производственного контроля качества питьевой воды. В соответствии с этими правилами организация, осуществляющая эксплуатацию систем водоснабжения, контролирует качество воды в местах водозабора, перед поступлением в распределительную сеть, а также в точках водозабора наружной и внутренней водопроводной сети.

10.2.2. Средства защиты гидросферы

Рассматриваемые в данном разделе методы и средства защиты гидросферы могут использоваться для очистки всех видов воды: питьевой, технической, а также производственных, бытовых и поверхностных сточных вод. Вид очищаемой воды определяет выбор схемы и

конкретного технологического оборудования, используемого для очистки.

Тем не менее для очистки любого вида воды, как правило, первой стадией очистки является механическая, второй — физико-химическая и третьей — биологическая. При этом на многих стадиях физико-химической и биологической очистки воды применяют сооружения вторичной механической очистки (как правило, вторичные отстойники) для выделения из воды нерастворимых примесей, образовавшихся в процессах физико-химической или биологической очистки.

Методы и технологическое оборудование для очистки сточных вод можно выбрать, зная допустимые концентрации примесей в очищенных сточных водах. При этом необходимо иметь в виду, что требуемые эффективность и надежность любого очистного устройства обеспечиваются в определенном диапазоне значений концентрации примесей и расходов сточных вод. С этой целью применяют усреднение концентрации примесей или расхода сточных вод, а в отдельных случаях и по обоим показателям одновременно. Для этого на входе в очистные сооружения устанавливают *усреднители,* выбор и расчет которых зависит от параметров изменяющихся по времени сбросов сточных вод. Выбор объема усреднителя концентрации примесей сточной воды зависит от коэффициента подавления $k_п = (c_{max} - c_{ср})/(c_д - c_{ср})$, где c_{max} — максимальная концентрация примесей в сточной воде, кг/м^3; $c_{ср}$ — средняя концентрация примесей в сточной воде на входе в очистные сооружения, кг/м^3; $c_д$ — допустимая концентрация примесей в сточной воде, при которой обеспечивается нормальная эксплуатация очистных сооружений, кг/м^3.

При $k_п \geq 5$ объем усреднителя (м^3)

$$V = k_п \Delta Q \tau_з,$$

где ΔQ — превышение расхода сточной воды при переменном сбросе, м^3/с; $\tau_з$ — продолжительность переменного сброса, с; $k_п < 5; V = \Delta Q \tau_з / \ln[k_п/(k_п - 1)]$.

После расчета объема усреднителя выбирают необходимое число секций, исходя из условия $\Delta Q h / V \leq W_д$, где h — высота секции усреднителя, м; $W_д = 0{,}0025$ м/с — допустимая скорость движения сточной воды в усреднителе.

В соответствии с видами процессов, реализуемых при очистке, целесообразно существующие методы классифицировать на механические, физико-химические и биологические.

Механическая очистка. Для очистки сточных вод от взвешенных веществ используют процеживание, отстаивание, обработку в поле действия центробежных сил и фильтрование.

Процеживание реализуют в решетках и волокноуловителях. В вертикальных или наклонных *решетках* ширина прозоров обычно составляет 15...20 мм. Для удаления осадка веществ с входной поверхности решеток используют ручную или механическую очистку. Последующая обработка удаленного осадка требует дополнительных затрат и ухудшает санитарно-гигиенические условия в помещении. Эти недостатки устраняются при использовании решеток-дробилок, которые улавливают крупные взвешенные вещества и измельчают их до 10 мм и менее. В настоящее время используют несколько типоразмеров таких решеток, например РД-200 производительностью 60 $м^3$/ч и диаметром сетчатого барабана 200 мм.

Для выделения волокнистых веществ из сточных вод целлюлозно-бумажных и текстильных предприятий используют *волокноуловители,* например с использованием перфорированных дисков или в виде движущихся сеток с нанесенным на них слоем волокнистой массы.

Отстаивание основано на свободном оседании (всплывании) примесей с плотностью больше (меньше) плотности воды. Процесс отстаивания реализуют в песколовках, отстойниках и жироуловителях. Для расчета этих очистных устройств необходимо знать скорость свободного осаждения (всплывания) примесей (м/с):

$$W_0 = gd_ч^2(\rho_ч - \rho_в)/(18\mu),$$

где g — ускорение свободного падения, м/с^2; $d_ч$ — средний диаметр частиц, м; $\rho_ч$ и $\rho_в$ — плотности частицы и воды, кг/м^3; μ — динамическая вязкость воды, Па/с.

Песколовки используют для очистки сточных вод от частиц металла и песка размером более 0,25 мм. В зависимости от направления движения сточной воды применяют горизонтальные песколовки с прямолинейным и круговым движением воды, вертикальные и аэрируемые. На рис. 10.15 показана схема горизонтальной песколовки, ее длина (м):

$$L = \alpha h W / W_0,$$

где W — скорость движения воды в песколовке, W = 0,15...0,3 м/с; α — коэффициент, учитывающий влияние возможной турбулентности и неравномерности скоростей движения сточной воды в песколовке, α = 1,3...1,7.

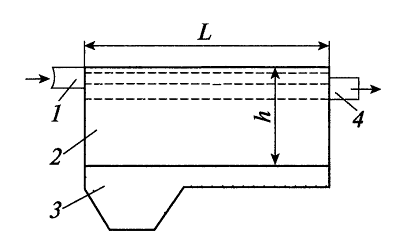


Рис. 10.15. Схема горизонтальной песколовки:

1 — входной патрубок; *2* — корпус песколовки; *3* — шламосборник; *4* — выходной патрубок

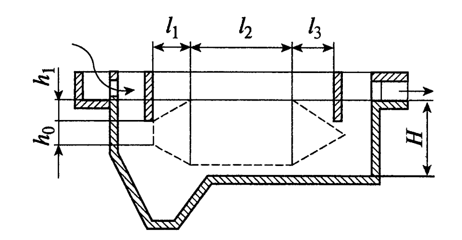


Рис. 10.16. Расчетная схема горизонтального отстойника

Рабочую глубину песколовки h выбирают из условия $h/W_0 \leq \tau_{пр}$, где $\tau_{пр}$ — время пребывания воды в песколовке, $\tau_{пр}$ = 30...100 с. Ширина песколовки (м)

$$B = Q/(nhw),$$

где Q — расход сточной воды, м^3/с; n — число секций в песколовке.

Отстойники используют для очистки сточных вод от механических частиц размером более 0,1 мм, а также от частиц нефтепродуктов. В зависимости от направления движения потока сточной воды применяют горизонтальные, радиальные или комбинированные отстойники. При расчете отстойников определяют, как правило, его длину и высоту. Существуют различные методики расчета длины отстойников. На рис. 10.16 представлена расчетная схема горизонтального отстойника. В первой зоне длиной l_1 (м) имеет место неравномерное распределение скоростей по глубине отстойника:

$$l_1 = \sqrt[1,15]{\beta(H - h_0)}\ ,$$

где H — рабочая высота отстойника, м; $h_0 = 0{,}25\ H$ — высота движущегося слоя сточной воды в начале отстойника, м; $\beta = (0{,}018...0{,}02)W_x$; W_x — горизонтальная составляющая скорости движения воды, м/с.

Во второй зоне длиной l_2 (м) скорость потока сточной воды постоянна. В этой зоне основная часть примесей должна осесть (всплыть) в иловую часть (на поверхность) отстойника, поэтому

$$l_2 = (H - h_1)W_x/(W_0 - 0{,}5W_x),$$

где h_1 — максимально возможная высота подъема частицы в первой зоне, м. В третьей зоне длиной l_3 (м) скорость потока увеличивается и условия осаждения частиц ухудшаются:

$$l_3 = H/\text{tg}\alpha,$$

где α — угол сужения потока воды в выходной части отстойника; $\alpha = 25...30°$.

Для расчета общей длины отстойника $l = l_1 + l_2 + l_3$ задают расход сточной воды и размеры поперечного сечения отстойника.

Очистку сточных вод в поле действия центробежных сил осуществляют в открытых или напорных гидроциклонах и центрифугах. Открытые *гидроциклоны* применяют для выделения из сточной воды крупных твердых примесей со скоростью осаждения более 0,02 м/с. Такие гидроциклоны имеют большую производительность и малые потери напора, не превышающие 0,5 м. Эффективность очистки сточных вод от твердых частиц в гидроциклонах зависит от состава примесей (материала, размера, формы частиц и др.), а также от конструктивных и геометрических характеристик гидроциклона.

Открытый гидроциклон (рис. 10.17) состоит из входного патрубка *1*, кольцевого водослива *2*, патрубка *3* для отвода очищенной воды и шламоотводящей трубы *4*. Существуют открытые гидроциклоны с нижним отводом очищенной воды, а также гидроциклоны с внутренней цилиндрической перегородкой.

Производительность (м^3/с) открытого гидроциклона $Q = 0{,}785qD^2$, где q — удельный расход воды; для гидроциклона с внутренней цилиндрической перегородкой $q = 7{,}15w_0$ (w_0 — скорость свободного осаждения частиц в воде, м/с); D — диаметр цилиндрической части гидроциклона, м.

Для проектирования открытых гидроциклонов рекомендуются следующие его геометрические характеристики: $D = 2...10$ м; $H = D$; $d = 0{,}1D$ при одном отверстии и $d = 0{,}0707D$ при двух входных отверстиях; $\alpha = 60°$.

Рис. 10.17. Схема открытого гидроциклона

Конструктивная схема напорного гидроциклона аналогична схеме циклона для очистки газов от твердых частиц. Производительность напорного гидроциклона

$$Q = KDd\sqrt{2\Delta p/\rho},$$

где K — коэффициент, зависящий от условий входа воды в гидроциклон; для гидроциклонов с $D = 0{,}125...0{,}6$ м и $\alpha = 30°$ $K = 0{,}524$; Δp — перепад давлений воды в гидроциклоне, Па; ρ — плотность очищаемой сточной воды, кг/м^3.

На рис. 10.18 представлена схема напорного гидроциклона, обеспечивающего очистку сточ-

ной воды и от твердых частиц, и от маслопродуктов. Сточная вода через установленный тангенциально по отношению к корпусу гидроциклона входной трубопровод *1* поступает в гидроциклон. Вследствие закручивания потока сточной воды твердые частицы отбрасываются к стенкам гидроциклона и стекают в шламосборник *7*, откуда они периодически удаляются. Сточная вода с содержащимися в ней маслопродуктами движется вверх. При этом вследствие меньшей плотности маслопродуктов они концентрируются в ядре закрученного потока, который поступает в приемную камеру *3*, и через трубопровод *5* маслопродукты выводятся из гидроциклона для последующей утилизации. Сточная вода, очищенная от твердых частиц и маслопродуктов, скапливается в камере *2*, откуда через трубопровод *6* отводится для дальнейшей очистки. Трубопровод *4* с регулируемым проходным сечением предназначен для выпуска воздуха, концентрирующегося в ядре закрученного потока очищаемой сточной воды.

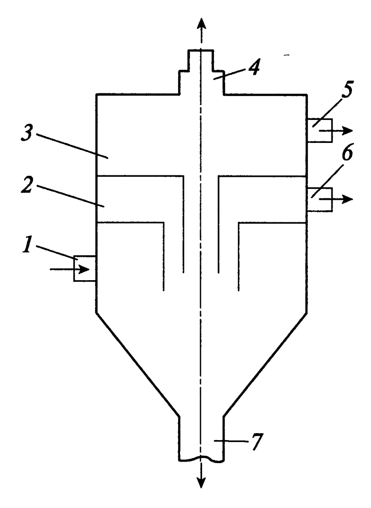


Рис. 10.18. Схема координированного гидроциклона

Такие гидроциклоны используют для очистки сточных вод прокатных цехов с концентрацией твердых частиц и маслопродуктов соответственно 0,13...0,16 и 0,01...0,015 кг/м^3 и эффективностью их очистки около 0,7 и 0,5. При расходе очищаемой сточной воды 5 м^3/ч перепад давлений в гидроциклоне составляет 0,1 МПа.

Фильтрование применяют для очистки сточных вод от тонкодисперсных примесей с малой их концентрацией. Его используют как на начальной стадии очистки сточных вод, так и после некоторых методов физико-химической или биологической очистки. Для очистки сточных вод фильтрованием применяют в основном два типа фильтров: зернистые, в которых очищаемую сточную воду пропускают через насадки несвязанных пористых материалов, и микрофильтры, фильтроэлементы которых изготовляют из связанных пористых материалов (сеток, натуральных и синтетических тканей, спеченных металлических порошков и т. п.).

Для очистки больших расходов сточных вод от мелкодисперсных твердых примесей применяют *зернистые фильтры* (рис. 10.19). Сточная вода по трубопроводу *4* поступает в корпус *1* фильтра и проходит через фильтровальную загрузку *3* из частиц мраморной крошки, шун-

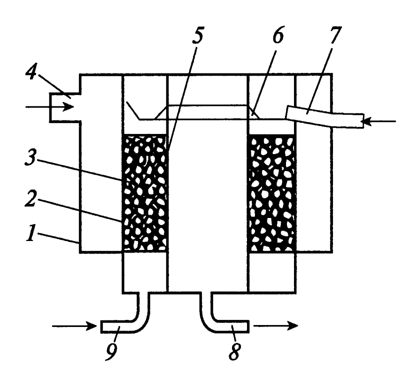


Рис. 10.19. Схема зернистого фильтра

гизита и т. п., расположенную между пористыми перегородками *2* и *5*. Очищенная от твердых частиц сточная вода скапливается в объеме, ограниченном пористой перегородкой *5*, и выводится из фильтра через трубопровод *8*. По мере осаждения твердых частиц в фильтровальном материале перепад давлений на фильтре увеличивается и при достижении предельного значения перекрывается входной трубопровод *4* и по трубопроводу *9* подается сжатый воздух. Он вытесняет из фильтровального слоя *3* воду и твердые частицы в желоб *6*, которые затем по трубопроводу *7* выводятся из фильтра. Достоинством конструкции фильтра является развитая поверхность фильтрования, а также простота конструкции и высокая эффективность.

В настоящее время для очистки сточных вод от маслопродуктов широко используют фильтры с фильтровальным материалом из частиц пенополиуретана. Пенополиуретановые частицы, обладая большой маслопоглощающей способностью, обеспечивают эффективность очистки до 0,97...0,99 при скорости фильтрования до 0,01 м/с. При этом насадка из пенополиуретана легко регенерируется при механическом выжимании маслопродуктов.

На рис. 10.20 представлена схема фильтра-сепаратора с фильтровальной загрузкой из частиц пенополиуретана, предназначенного для очистки сточных вод от маслопродуктов и твердых частиц. Сточную воду по трубопроводу *5* подают на нижнюю опорную решетку *4*. Затем вода проходит через фильтровальную загрузку в роторе *2*, верхнюю решетку *4* и очищенная от примесей переливается в приемный кольцевой карман *6* и выводится из корпуса *1*. При концентрации маслопродуктов и твердых частиц до 0,1 кг/м^3 эффективность очистки составляет соответственно 0,92 и 0,9; а время непрерывной эксплуатации фильтра —16...24 ч. Достоинствами данной конструкции являются простота и большая эффективность регенерации фильтра.

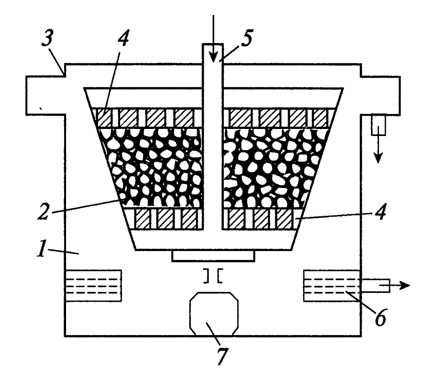


Рис. 10.20. Схема фильтра-сепаратора

При включении электродвигателя *7* вращается ротор *2* с фильтровальной загрузкой. В результате частицы пенополиуретана под действием центробежных сил отбрасываются к внутренним стенкам ротора, выжимая из него маслопродукты, которые поступают в карманы *3* и направляются на регенерацию. Время полной регенерации фильтра 0,1 ч.

Физико-химические методы очистки. Данные методы используют для очистки от растворенных примесей, а в некоторых случаях и от взвешенных веществ. Многие методы физико-химической очистки требуют предварительного глубокого выделения из сточной воды взвешенных веществ, для чего широко используют процесс коагуляции.

В настоящее время в связи с использованием оборотных систем водоснабжения существенно увеличивается применение физико-химических методов очистки сточных вод, основными из которых являются флотация, экстракция, нейтрализация, сорбция, ионообменная и электрохимическая очистка, гиперфильтрация, эвапорация, выпаривание, испарение и кристаллизация.

Флотация предназначена для интенсификации процесса всплывания маслопродуктов при обволакивании их частиц пузырьками газа, подаваемого в сточную воду. В основе этого процесса имеет место молекулярное слипание частиц масла и пузырьков тонкодиспергированного в воде газа. Образование агрегатов «частица — пузырьки газа» зависит от интенсивности их столкновения друг с другом, химического взаимодействия содержащихся в воде веществ, избыточного давления газа в сточной воде и т. п.

В зависимости от способа образования пузырьков газа различают следующие виды флотации: напорную, пневматическую, пенную, химическую, вибрационную, биологическую, электрофлотацию и др.

В настоящее время на станциях очистки широко используют электрофлотацию, так как протекающие при этом электрохимические процессы обеспечивают дополнительное обеззараживание сточных вод. Кроме того, применение для электрофлотации алюминиевых или стальных электродов обусловливает переход ионов алюминия или железа в раствор, что способствует коагулированию мельчайших частиц механических примесей сточной воды.

Образование дисперсной газовой фазы в процессе электрофлотации происходит вследствие электролиза воды. Основной составляющей электролизных газов является водород; при этом выделяется незначительное количество кислорода, хлора, оксидов углерода и азота.

При расчете электрофлотатора определяют расход газа, необходимого для обеспечения заданной эффективности очистки, $q_г = 100Q(c_0 - c_к)6M$, где c_0 и $c_к$ — концентрации маслопродуктов в исходной очищенной сточной воде, кг/м^3; M — удельная адсорбция маслопродуктов газовой фазой, л/кг. Затем находят силу тока для получения требуемого количества электролизного газа $I = q_г/\alpha_г$, где $\alpha_г$ — выход газа по току; $\alpha_г = 0{,}0076$ дм^3/(л · мин).

Расход водорода (дм^3/мин) в смеси электролизного газа

$$q_{H_2} = 22{,}4 q_г \alpha_H / (\alpha_г M_{H_2}),$$

где α_H — электрохимический эквивалент водорода, $\alpha_H = 0{,}627$ мг/(А·мин); M_{H_2} — молекулярная масса водорода.

Задают расход воздуха, подаваемого под границу раздела «сточная вода — воздух рабочей зоны» в камере флотации, исходя из соотношения $q_в \geq 50 q_{H_2}$, и определяют суммарный расход газовоздушной смеси, выходящей через открытую поверхность флотатора $q_{см} = q_г + q_в$. Выбирают удельный расход газовоздушной смеси через поверхность пенообразования $\omega = 300...600$ дм^3/(м^3· мин) и определяют площадь поверхности пенообразования $f = q_{см}/\omega$.

Определяют объемную плотность тока (А/м^3), обеспечивающую необходимую величину газонаполнения $j = (\varphi + 0{,}261 K_ф + 0{,}1)/(0{,}022 - 0{,}011 K_ф)$, где φ — степень газонаполнения сточной воды в процессе флотации; $\varphi = 1...5$ дм^3/м^3; $K_ф = 0{,}3...1{,}2$ — коэффициент формы флотационной камеры.

Находят объем и площадь поперечного сечения флотационной камеры $V = I/j$; $F = (K_ф \sqrt[3]{V})^2$ и затем ее основные размеры.

Экстракция сточных вод основана на перераспределении примесей сточных вод в смеси двух взаимно нерастворимых жидкостей (сточной воды и экстрагента). Количественно интенсивность перераспределения оценивается коэффициентом экстракции $K_э = c_э/c_в$,

где $c_э$ и $c_в$ — концентрации примеси в экстрагенте и сточной воде по окончании процесса экстракции. В частности, при очистке сточных вод от фенола с использованием в качестве экстрагента бензола или бутилацетата $K_э$ составляет соответственно 2,4 и 8...12. Для интенсификации процесса экстракции перемешивание смеси сточных вод с экстрагентом осуществляют в экстракционных колоннах, заполненных насадками из колец Рашига.

Нейтрализация сточных вод предназначена для выделения из них кислот, щелочей, а также солей металлов на основе кислот и щелочей. Процесс нейтрализации основан на объединении ионов водорода и гидроксильной группы в молекулу воды, в результате чего сточная вода приобретает значение pH ≈ 6,7 (нейтральная среда). Нейтрализацию кислот и их солей осуществляют щелочами или солями сильных щелочей: едким натром, едким кали, известью, известняком, доломитом, мрамором, мелом, магнезитом, содой, отходами щелочей и т. п. Наиболее дешевым и доступным реагентом для нейтрализации кислых сточных вод является гидроокись кальция (гашеная известь). Для нейтрализации сточных вод с содержанием щелочей и их солей (сточные воды целлюлозно-бумажных и текстильных заводов) можно использовать серную, соляную, азотную, фосфорную и другие кислоты. Теоретический расход щелочей (кислот) для нейтрализации содержащихся в сточных водах кислот (щелочей) определяют в соответствии с уравнениями реакций нейтрализации по формуле $q = cM_э/M_к$, где c — концентрация кислоты (щелочи) или их солей в сточной воде; $M_э$ и $M_к$ — молекулярные массы щелочи (кислоты) и кислоты (щелочи) или их солей.

На практике используют три способа нейтрализации сточных вод:

— фильтрационный — путем фильтрования сточной воды через насадки кусковых или зернистых материалов;

— водно-реагентный — добавлением в сточную воду реагента в виде раствора или сухого вещества (извести, соды или шлака); нейтрализующим раствором может быть и щелочная сточная вода;

— полусухой — перемешивание высококонцентрированных сточных вод (например, отработанного гальванического раствора) с сухим реагентом (известью, шлаком) с последующим образованием нейтральной тестообразной массы.

Сорбцию применяют для очистки сточных вод от растворимых примесей. В качестве сорбентов используют любые мелкодисперсные материалы (золу, торф, опилки, шлаки, глину); наиболее эффективный сорбент — активированный уголь. Расход сорбента $m = Q(c_0 - c_к)/a$, где Q — расход сточной воды, м^3/с; c_0 и $c_к$ — концентрации примесей в исходной и очищенной сточной воде, кг/м^3;

a — удельная сорбция, характеризующая количество примесей, поглощаемых единицей массы сорбента, кг/с.

Ионообменную очистку применяют для обессоливания и очистки сточных вод от ионов металлов и других примесей. Очистку осуществляют ионитами — синтетическими ионообменными смолами, изготовленными в виде гранул размером 0,2...2 мм. Иониты изготовляют из нерастворимых в воде полимерных веществ, имеющих на своей поверхности подвижный ион (катион или анион), который при определенных условиях вступает в реакцию обмена с ионами того же знака, содержащимися в сточной воде.

Различают сильно- и слабокислотные катиониты (в H^+- или Na^+-форме) и сильно- и слабоосновные аниониты (в OH^-- или солевой форме), а также иониты смешанного действия.

Ионообменную очистку реализуют последовательным фильтрованием сточной воды через катиониты и аниониты. При контакте сточной воды с катионитом в водородной форме имеет место обмен катионов растворенных в воде солей на H^+-ионы катионита в соответствии с уравнением реакции

$$n[K]H + Me^{n+} \rightleftarrows [K]_nMe + nH^+$$

где K — «скелет» (радикал) катионита; Me — извлекаемый из сточной воды катион металла; *n* — заряд катиона. При этом имеет место увеличение кислотности сточной воды.

При контакте сточной воды с анионитом в гидроксильной форме происходит обмен анионов кислот на OH^--ионы анионита в соответствии с уравнением реакции

$$m[A_n]OH + A^{m-} \rightleftarrows [A_n]_mA + mOH^-$$

где A_n — «скелет» (радикал) анионита; A — извлекаемый из сточной воды анион; *m* — заряд аниона.

В зависимости от вида и концентрации примесей в сточной воде, требуемой эффективности очистки используют различные схемы ионообменных установок. Для очистки сточных вод от анионов сильных кислот применяют технологическую схему одноступенчатого H-катионирования и OH-анионирования с использованием сильнокислотного катионита и слабоосновного анионита (рис. 10.21, *а*). Для более глубокой очистки сточных вод, в том числе от солей, применяют одно- или двухступенчатое H-катионирование на сильнокислотном катионите с последующим двухступенчатым OH-анионированием на слабо-, а затем на сильноосновном анионите (см. рис. 10.21, *б*).

При содержании в сточной воде большого количества диоксида углерода и его солей происходит быстрое истощение емкости силь-

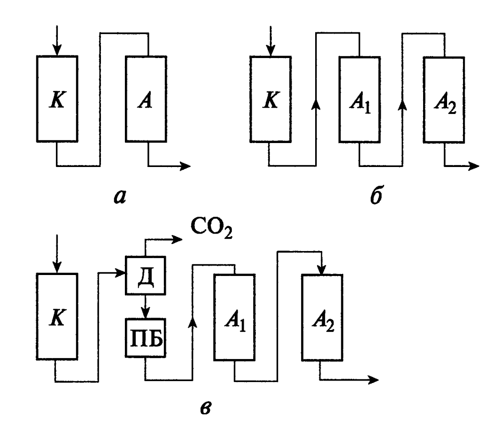


Рис. 10.21. Технологическая схема ионообменной очистки сточных вод:
а — одноступенчатая очистка; *б* — очистка с двуступенчатым анионированием; *в* — очистка с промежуточной дегазацией и двуступенчатым анионированием; *К* — катионитовый фильтр; *А* — анионитовый фильтр; *Д* — декарбонизатор; *ПБ* — промежуточный бак

ноосновного анионита. Для уменьшения истощения сточную воду после катионитового фильтра дегазируют в специальных дегазаторах с насадкой из колец Рашига или в других аппаратах (см. рис. 10.21, *в*).

При необходимости обеспечивать значение pH ≈ 6,7 и очистки сточной воды от анионов слабых кислот вместо анионитовых фильтров второй ступени используют фильтр смешанного действия, загружаемый смесью сильнокислотного катионита и сильноосновного анионита.

Электрохимическая очистка, в частности электрохимическое окисление, осуществляется электролизом и реализуется двумя путями: окислением веществ путем передачи электронов непосредственно на поверхности анода или через вещество — переносчика, а также в результате взаимодействия с сильными окислителями, образовавшимися в процессе электролиза.

Наличие в сточной воде достаточного количества хлоридионов обусловливает появление в ней при электролизе активного хлора (Cl_2, $HOCl$, Cl_2O, ClO^-, ClO_3), который является сильнейшим окислителем и способен вызывать глубокую деструкцию многих органических веществ, содержащихся в сточных водах.

Электрохимическое окисление применяют для очистки сточных вод гальванических процессов, содержащих простые цианиды (KCCl, NaCCl) или комплексные цианиды цинка, меди, железа и других металлов. Электрохимическое окисление осуществляют в электролизерах (обычно прямоугольной формы) непрерывного или периодического действия. На аноде происходит окисление цианидов в малотоксичные и нетоксичные продукты (цианаты, карбонаты, диоксид углерода, азот), а на катоде — разряд ионов водорода с образованием газообразного водорода и разряд ионов меди, цинка, кадмия,

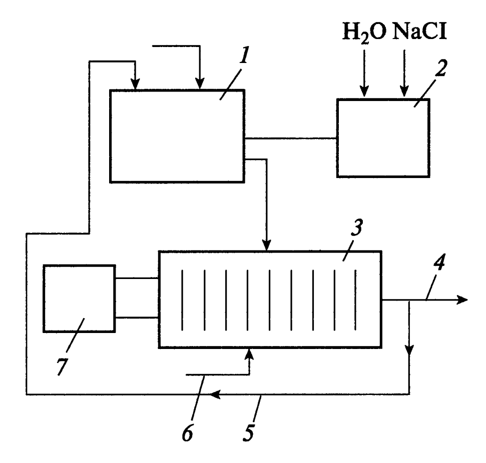


Рис. 10.22. Технологическая схема установки электрохимического окисления циансодержащих сточных вод

образующихся при диссоциации комплексных анионов с содержанием CN-группы.

На рис. 10.22 показана технологическая схема установки для электрохимического окисления сточных вод. В ее состав входят сборный резервуар *1*, бак *2* для приготовления концентрированного раствора NaCl, электролизер *3* с источником постоянного напряжения *7*. Очищенная от цианидов сточная вода выходит по трубопроводу *4*, а при необходимости ее доочистки по трубопроводу *5* вновь направляется в сборный резервуар *1*. Для интенсификации процесса окисления в электролизер *3* по трубопроводу *6* подают сжатый воздух.

Гиперфильтрация (обратный осмос) реализуется разделением растворов путем фильтрования их через мембраны, поры которых размером около 1 нм пропускают молекулы воды, задерживая гидратированные ионы солей или молекулы недиссоциированных соединений. По сравнению с другими методами очистки гиперфильтрация требует малых энергозатрат: установки для очистки конструктивно просты и компактны, легко автоматизируются; фильтрат имеет высокую степень чистоты и может быть использован в оборотных системах водоснабжения, а сконцентрированные примеси сточных вод легко утилизируются или уничтожаются.

Перенос воды и растворенного вещества через мембрану оценивается уравнениями: $Q = k_1(p_р - \Delta p)$; $F = k_2 \Delta c$, где Q — расход воды через мембрану, м^3/с; k_1, k_2 — коэффициенты проницаемости соответственно воды и растворенного вещества через конкретную мембрану; $p_р$ — рабочее давление на входе в мембрану, Па; Δp — разность

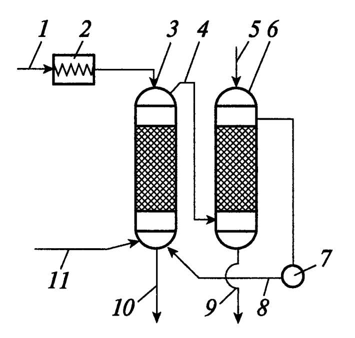


Рис. 10.23. Технологическая схема эвапорационной установки:

1 — трубопровод подачи исходной сточной воды; *2* — теплообменник; *3* — эвапорационная колонна; *4* — трубопровод загрязненного пара; *5* — трубопровод подачи растворителя; *6* — колонна с насадками из колец Рашига для очистки отработанного пара; *7* — вентилятор; *8* — трубопровод повторно используемого очищенного пара; *9* — трубопровод отвода загрязненного летучими примесями растворителя; *10* — трубопровод отвода очищенной сточной воды; *11* — трубопровод подачи свежего пара

осмотических давлений раствора на входе в мембрану, Па; Δc — разность концентраций растворенного в воде вещества на входе в мембрану и выходе из нее, кг/м^3; F — масса растворенного вещества, переносимого через мембрану, кг.

Для гиперфильтрации используют ацетатцеллюлозные, полиамидные и тому подобные полимерные мембраны с ресурсом работы 1...2 г. Селективность мембран по отношению к ионам различных веществ характеризуется следующим рядом: $Al^{3+} > Zn^{2+} > Cd^{2+} > Mg^{2+} > Ca^{2+} > Ba^{2+} > SO_4^{2-} > Na^+ > F^- > K^+ > Cl^- > Br^- > I^- > NO_3^- > H^+$.

Эвапорация реализуется обработкой паром сточной воды с содержанием летучих органических веществ, которые переходят в паровую фазу и вместе с паром удаляются из сточной воды. Процесс эвапорации осуществляют в испарительных установках (рис. 10.23), в которых при протекании через эвапорационную колонну с насадками из колец Рашига навстречу потоку острого пара сточная вода нагревается до температуры 100°C. При этом содержащиеся в сточной воде летучие примеси переходят в паровую фазу и распределяются между двумя фазами (паром и водой) в соответствии с уравнением $c_п/c_в = \gamma$, где $c_п$ и $c_в$ — концентрации примеси в паре и сточной воде, кг/м^3; γ — коэффициент распределения. Для аммиака, этиламина, диэтиламина, анилина и фенола, содержащихся в сточной воде, коэффициент распределения соответственно равен 13, 20, 43; 5,5 и 2.

Концентрация примеси в сточной воде на выходе из эвапорационной колонны

$$c_в = c_0(q\gamma - 1)/(q\gamma e^x - 1),$$

где c_0 — концентрация примеси в исходной сточной воде, кг/м^3; q — удельный расход пара, кг/кг; $x = [\rho\sigma H(q\gamma - 1)]/(bq\gamma)$, здесь $bq\gamma$ — эмпирическая постоянная насадки; b — плотность орошения колонны водой, м^3/м^2; ρ — эмпирическая постоянная, м/с; σ — удельная площадь поверхности насадки, м^3/м^2; H — высота слоя насадки, м.

Выпаривание, испарение и кристаллизацию используют для очистки небольших объемов сточной воды с большим содержанием летучих веществ.

Биологическая очистка. Ее применяют для выделения тонкодисперсных и растворенных органических веществ. Она основана на способности микроорганизмов использовать для питания содержащиеся в сточных водах органические вещества (кислоты, спирты, белки, углеводы и т. п.). Процесс реализуется в две стадии, протекающие одновременно, но с различной скоростью: адсорбция из сточных вод тонкодисперсных и растворенных примесей органических веществ и разрушение адсорбированных веществ внутри клетки микроорганизмов при протекающих в них биохимических процессах (окислении или восстановлении). Обе стадии реализуются как в аэробных, так и в анаэробных условиях в зависимости от видов и свойств микроорганизмов. Биологическую очистку осуществляют в природных и искусственных условиях.

Сточные воды в природных условиях очищают на полях фильтрации, полях орошения и в биологических прудах. Очистку и бытовых, и производственных сточных вод на полях фильтрации и полях орошения в настоящее время используют очень редко в связи с малой пропускной способностью единицы площади полей и непостоянством состава производственных сточных вод, а также из-за возможности попадания на поля токсичных для их микрофлоры примесей.

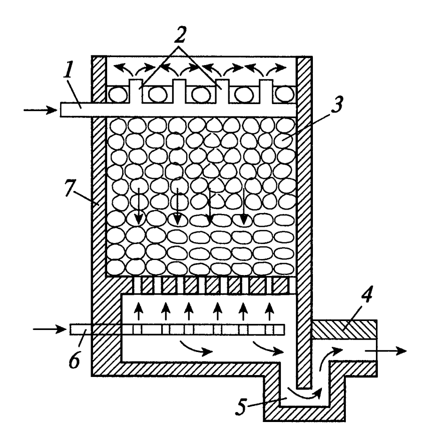
Биологические пруды используют для очистки и доочистки сточных вод суточным расходом не более 6000 $м^3$. Применяют пруды с естественной и искусственной аэрацией.

Биологические фильтры широко используют для очистки и бытовых, и производственных сточных вод. В качестве фильтровального материала для загрузки биофильтров применяют шлак, щебень, керамзит, пластмассу, гравий и т. п. Существуют биофильтры с естественной подачей воздуха; их применяют для очистки сточных вод суточным расходом не более 1000 $м^3$. Для очистки производственных сточных вод больших расходов и сильно концентрированных используют биофильтры с принудительной подачей воздуха (рис. 10.24).

Нормальный ход процесса биологической очистки сточных вод устанавливается после образования на загрузочном материале биофильтра биологической пленки, микроорганизмы которой адаптировались к органическим примесям сточных вод. Период адаптации обычно составляет 2...4 недели, хотя в отдельных случаях он может достигать нескольких месяцев. Для оценки состава сточных вод в процессе биологической очистки используют биологическую потребность воды в кислороде (БПК) — количество кислорода, необхо-

Рис. 10.24. Схема биофильтра с принудительной подачей воздуха:

1 — трубопровод подачи исходной сточной воды; 2 — водораспределительные устройства; 3 — фильтровальная загрузка; 4 — трубопровод отвода очищенной сточной воды; 5 — гидравлический затвор; 6 — трубопровод подвода сжатого воздуха; 7 — корпус фильтра



димое для окисления всех органических примесей, содержащихся в единице объема сточной воды.

Объем загрузочного материала $V = (L_a - L_t)/M$, где L_a и L_t — БПК исходной и очищенной сточной воды, кг/м^3; M — окислительная мощность биофильтра — масса кислорода, которая может быть получена в сутки с единицы объема загрузочного материала биофильтра, кг/(м^3 · сут).

Аэротенки, используемые для очистки больших расходов сточных вод, позволяют эффективно регулировать скорость и полноту протекающих в них биохимических процессов, что особенно важно для очистки промышленных сточных вод нестабильного состава. Окислительная мощность аэротенков составляет 0,5...1,5 кг/м^3 в сутки. В зависимости от состава примесей сточных вод и требуемой эффективности очистки применяют аэротенки с дифференцируемой подачей воздуха, аэротенки-смесители с дифференцируемой подачей сточной воды и аэротенки с регенераторами активного ила.

При БПК > 0,5 кг/м^3 используют аэротенки с дифференцируемой (сосредоточенной) подачей смеси сточной воды и активного ила в начале сооружения (рис. 10.25). Воздух, интенсифицирующий процесс окисления органических примесей, распределяется равномерно по всей длине аэротенка. Диспергирование воздуха в очищаемой сточной воде осуществляют механическими или пневматическими аэраторами. Окислительная мощность аэротенков существенным образом зависит от концентрации активного ила в сточной воде. При очистке производственных сточных вод концентрация ила обычно составляет 2...3 кг/м^3 по сухому веществу.

Окситенки обеспечивают более интенсивный процесс окисления органических примесей по сравнению с аэротенками за счет подачи в

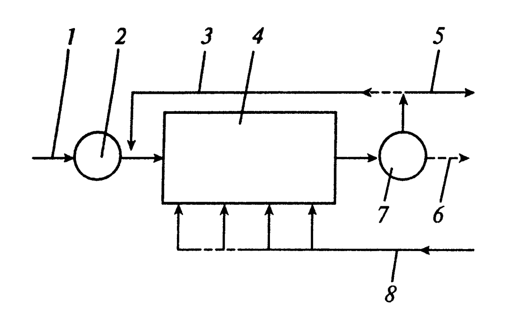


Рис. 10.25. Технологическая схема аэротенка:

1 — трубопровод подачи исходной сточной воды; *2* — первичный отстойник; *3* — трубопровод подачи активного ила для повторного использования; *4* — аэротенк; *5* — трубопровод отвода отработанного ила; *6* — трубопровод отвода очищенной сточной воды; *7* — вторичный отстойник; *8* — трубопровод подвода сжатого воздуха

них технического кислорода и повышения концентрации активного ила. Для увеличения коэффициента использования подаваемого в объем сточной воды кислорода реактор окситенка герметизируют. Очищенная от органических примесей сточная вода из реактора поступает в илоотделитель, в котором происходит выделение из нее отработанного ила. При проектировании окситенков необходимо предусматривать мероприятия по обеспечению их пожаровзрывобезопасности с учетом вредных и опасных факторов, имеющих место при эксплуатации систем с использованием газообразного кислорода.

10.2.3. Питьевая вода и методы обеспечения ее качества

Качество питьевой воды в настоящее время регламентируется СанПиН 2.1.4.1074—01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Указанный документ регламентирует качественные и количественные санитарно-токсикологические и органолептические показатели воды: максимальное допустимое содержание вредных веществ, мутность, цветность, запах, вкус.

Источниками питьевого водоснабжения могут быть поверхностные и подземные воды. В зависимости от степени загрязненности и качественного состава загрязнений воды в источниках применяют различные способы ее очистки для обеспечения нормативного качества, аналогичные способам, применяемым для очистки сточных вод, а также специальные методы, которые не применяют или применяют крайне редко при очистке сточных вод. К таким специальным методам относят прежде всего методы обеззараживания воды от болезнетворных бактерий, методы сорбционной очистки, опреснение и обессоливание воды и ряд методов удаления из воды наиболее характерных примесей, например железа, марганца, диоксинов, галогенорганических соединений.

Методы обеззараживания воды. Наиболее распространенным методом является *обработка воды хлором (хлорирование воды).* Хлор обладает широким спектром антимикробного действия. Для хлорирования применяют либо газообразный хлор, который подается в обеззараживаемую воду, либо твердые хлорсодержащие вещества, например гипохлорит натрия. Хотя хлорирование воды наиболее распространенный и дешевый способ ее обеззараживания, он обладает рядом существенных недостатков. Во-первых, хлор — сильное вещество и его хранение в больших количествах в газообразном или сжиженном виде на станциях подготовки питьевой воды представляет серьезную опасность и требует особых мер обеспечения безопасности. Во-вторых, избыточный хлор, введенный в воду, в свободном состоянии сам представляет серьезную опасность для человека. Он также может вступать в реакцию с оставшимися в воде микропримесями органических соединений с образованием крайне токсичных веществ, например хлороформа, который обладает канцерогенным действием. Подобные реакции ускоряют при нагреве и кипячении воды, поэтому перехлорирование воды представляет опасность, для уменьшения которой необходимо перед кипячением отстаивать воду в приоткрытой емкости для удаления растворенного в ней избыточного хлора.

Другим, более распространенным и прогрессивным методом обеззараживания воды является *озонирование.* Применение озона в качестве дезинфеканта воды лишено недостатков, связанных с использованием хлора. Кроме обеззараживания, озон устраняет запахи, обесцвечивает воду и улучшает ее вкусовые качества. Введение озона в воду не изменяет ее минеральный состав, щелочность, содержание свободной углекислоты. Такое действие озона связано с его исключительно высоким окислительным потенциалом. Переозонирование воды, в отличие от перехлорирования, не представляет опасности, так как озон нестабилен и быстро распадается с образованием кислорода, повышенное содержание которого в воде полезно. Однако в последние годы отмечены недостатки озонирования, связанные с тем, что при содержании в воде ионов брома он может окисляться озоном с образованием окислов брома (бромат-ионов), которые токсичны. Поэтому в настоящее время для избежания образования броматов вводят более жесткие технологические режимы озонирования. Озонирование — более дорогой метод обеззараживания воды, но более эффективный. Для его осуществления необходимы на станциях водоподготовки озонаторные установки, в которых озон получают путем расщепления молекулы кислорода под действием высоковольтных

электрических разрядов (подобно тому, как воздух атмосферы озонируется под действием разрядов молнии).

Наряду с указанными выше реагентными методами все большее распространение получают безреагентные методы, например, обеззараживание воды ультрафиолетовым излучением. Бактерицидным действием обладает ультрафиолетовое излучение с длиной волны 200—295 нм, которое приводит к уничтожению бактерий, вирусов, водорослей и других микроорганизмов, присутствующих в воде. В отличие от хлорирования и озонирования ультрафиолетовое излучение не обладает побочными вредными эффектами, связанными с возможным изменением химического состава и появлением токсичных веществ. Основное требование при УФ-обработке — прозрачность воды, которая не является существенным ограничением в системе водоподготовки, так как устранение мутности воды обычно достигается в предварительных ступенях ее обработки.

К безреагентным методам относят термическую обработку (5—10-минутное кипячение, широко используемое в быту), обработку ионизирующими облучениями (рентгеновское облучение), токами высокой частоты.

Сорбционная очистка питьевой воды. Сорбционная очистка — улавливание загрязнений поверхностью высокопористого твердого материала. Наиболее распространенным адсорбентом являются активированные угли или активированные древесные угли (АУ). Кроме улавливания вредных примесей, с высокой эффективностью АУ дехлорируют воду.

Опреснение и обессоливание воды применяют для удаления из воды солей, например, при опреснении морской воды. Наиболее распространенными методами являются дистилляция, обратный осмос, электродиализ и ионный обмен, описанный выше.

Дистилляция основана на нагреве воды, ее испарении и последующей конденсации паров. В образующемся конденсате практически отсутствуют растворенные соли.

Обратный осмос — процесс обратный прямому осмосу — заключается в том, что если разделить закрытый сосуд полупроницаемой мембраной из специального материала (например, ацетатцеллюлозы) на две части, в одной из которой будут находиться растворы солей с различной концентрацией, то начинается процесс выравнивания концентрации, заключающийся в диффузии растворителя через мембрану менее концентрированного раствора в более концентрированный. При этом повышается давление в части сосуда с более концентрированным раствором. Процесс диффузии продолжается до тех

пор, пока давление не компенсирует диффузионный напор. Такое давление называют осмотическим давлением. Например, для сочетания морская вода и дистиллированная вода осмотическое давление может достигать $25 \cdot 10^5$ Па. Если в части сосуда с более высокой концентрацией соли создать давление, превышающее осмотическое, то начинается процесс диффузии растворителя из концентрированного раствора в чистый (явление обратного осмоса). При этом чистая вода проникает через мембрану, а соли остаются в растворе в концентрированном виде. На этом процессе основаны аппараты обратного осмоса.

Электродиализом называют процесс переноса ионов через мембрану под действием приложенного к ней электрического поля. Для очистки воды используют электрохимически активные ионитовые мембраны. Наиболее распространены гетерогенные ионитовые мембраны, представляющие собой тонкие пленки, изготовленные из размельченной в порошок ионообменной смолы. В зависимости от того, из какой смолы сделана мембрана, различают катионитовые и анионитовые мембраны. Первые способны пропускать лишь катионы вредных примесей, а вторые — анионы.

Водоподготовку осуществляют на централизованных станциях, на которых приводят последовательную очистку воды в аппаратах различных типов в зависимости от состава загрязнения источника водоснабжения. При отсутствии системы централизованного водоснабжения применяют компактные модульные установки, рассчитанные на меньшую производительность и использующие указанные методы очистки.

В быту используют малогабаритные очистные аппараты для доочистки воды после водоподготовки на централизованных системах водоснабжения. Такая доочистка является крайне желательной, так как централизованные системы водоподготовки могут иметь недостатки, а вода после них при подаче к потребителю может повторно загрязняться окалиной, тяжелыми металлами. Особенно это характерно при подаче воды по старым изношенным водоводам.

Бытовые фильтры имеют различное устройство, в зависимости от которого удаляют нерастворимые соединения (песок, коллоиды, частицы ржавчины и т. д.), растворенное и нерастворенное железо, марганец, сероводород. Сорбционные фильтры служат для удаления остаточного хлора, растворенных газов, органических соединений, улучшения органолептических показателей. Существуют также ультрафиолетовые стерилизаторы; обратноосмотические, ионообменные и электрохимические фильтры.

10.3. ЗАЩИТА ЗЕМЕЛЬ

10.3.1. Обращение с отходами

Радикальное решение проблемы защиты земель от отходов возможно при разработке новых технологий и малоотходных производств. Для обобщения особенностей малоотходного производства можно выделить ряд взаимосвязанных принципов, лежащих в его основе.

Ключевым в этом ряду является принцип **системности** (рис. 10.26, *а*). В соответствии с этим принципом каждый отдельный процесс или производство рассматриваются как элемент более сложной индустриальной системы. Так, например, отходы нефтехимии — шламы, теплоэнергетики — золошлаковая смесь, химической промышлен-

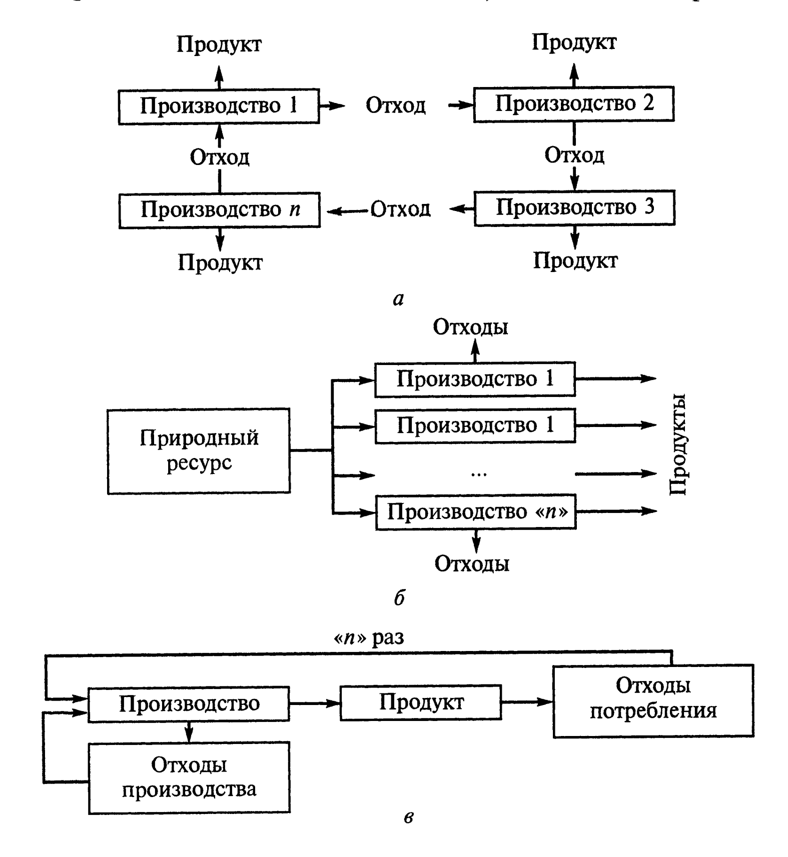


Рис. 10.26. Принципы малоотходных технологий:

а — системности; *б* — комплексности; *в* — цикличности. Увеличение числа «*n*» ведет к существенному снижению отходов

ности — отсев извести используются для получения цемента, при этом возникающие отходы используются в промышленности строительных материалов, а отходы последней — в сельскохозяйственной отрасли и т. д.

Другой важнейший принцип — принцип **комплексности** использования сырьевых ресурсов (см. рис. 10.26, *б*). Практически все используемое сырье многокомпонентно, и в среднем на 1/3 его стоимости составляют сопутствующие элементы. Так, уже в настоящее время практически все серебро, висмут, платину, более 20 % золота и около 30 % серы получают «попутно» при переработке комплексных руд. Повышение комплексности использования ресурсов, например, в лесопромышленном производстве, имеет не только экологическое, но и важное экономическое значение.

Третьим принципом создания малоотходного производства является **принцип цикличности** материальных потоков (рециклинг) (см. рис. 10.26, *в*), где важную роль играют замкнутые водооборотные циклы, рециркуляция газовых потоков, утилизация твердых отходов. Во всем мире это направление приобретает весьма важное значение. Уже сейчас технически возможно использовать 2/3 образующихся отходов, причем капитальные вложения при переработке вторичного сырья примерно в 4 раза меньше, чем первичного. Эколого-экономический эффект использования вторичного сырья на примере трех распространенных видов отходов представлен в табл. 10.6.

Таблица 10.6. **Эффект, %, по отношению к производству из первичного сырья**

Достигаемый эффект \ Вид производства	Сталь из железного лома	Стекло из стеклобоя	Бумага из макулатуры
Сокращение:			
загрязнения воздуха	86	14	73
загрязнения воды	76	—	35
твердых отходов	57	79	39
Экономия:			
энергии	74	6	70
воды	40	50	61
первичных ресурсов	90	54	100

В нашей стране за счет использования вторичного сырья производится 30 % стали, 25 % бумаги, 20 % цветных металлов. Однако существуют пределы в утилизации отходов. По мере увеличения доли вторичного сырья, в материальных циклах идет накопление примесного вещества. Например, в стали, выплавленной из металлолома, накап-



Рис. 10.27. Влияние степени утилизации отходов на расход энергии

ливается медь, цинк, кобальт. При увеличении степени утилизации отходов требуются бóльшие затраты энергии на очистку и сепарацию данного вида отходов. Влияние степени утилизации на расход энергии показано на рис. 10.27.

Из этой закономерности следует вывод о принципиальной недостижимости 100 % утилизации отходов, т. е. невозможности создания абсолютно безотходного производства.

Правовые основы обращения с отходами определяет Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» (1998), который преследует две цели:

— предотвращение вредного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую природную среду;

— вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья.

Закон формулирует основные понятия.

Отходы производства и потребления — остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, изделий или продуктов, образовавшиеся в процессе производства или потребления, а также товары, утратившие свои потребительские свойства (закон не распространяется на отходы в виде выбросов в атмосферу, сбросов в водные объекты, радиоактивные отходы).

Опасные отходы — отходы, содержащие вредные вещества и обладающие опасными свойствами (токсичностью, взрыво-пожароопасностью, высокой реакционной способностью) или содержащие возбудителей инфекционных болезней.

Обращение с отходами — деятельность, в процессе которой отходы образуются, собираются, используются, обезвреживаются, транспортируются, размещаются (хранятся или захораниваются).

Объект размещения отходов — специально оборудованное сооружение, предназначенное для временного или постоянного размещения отходов (полигон, шламохранилище, отвал горных пород и др.).

Лимит на размещение отходов — предельно допустимое количество отходов конкретного вида, которое разрешается размещать определенным способом на установленный срок с учетом экологической обстановки на данной территории (аналог ПДВ и ПДС).

Норматив образования отходов — установленное количество отходов конкретного вида при производстве единицы продукции (рассчитывается с учетом типа технологии и коэффициента использования материалов).

Паспорт опасных отходов — документ, удостоверяющий принадлежность отходов к отходам соответствующего вида и класса опасности, содержащий сведения об их составе.

Промышленные отходы (ПО) классифицируются по агрегатному состоянию: *твердые* (строительный мусор, пустая горная порода, шлак, зола, металлы, пластмассы, резина и т. п.); *пастообразные* (шламы очистных сооружений сточных вод, краски, смолы, загущенные нефтепродукты) и *жидкие* (смазочно-охлаждающие жидкости, растворители, отходы гальванопроизводства и т. п.). Их разделяют на два вида: *нетоксичные* (неопасные, нейтральные для окружающей среды и человека) и *токсичные.*

В соответствии с Санитарными правилами «Порядок накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов» (1985) токсичные промышленные отходы подразделяют на четыре класса: I класс — *чрезвычайно опасные* (наличие в отходах ртути, хромовокислого калия, оксида мышьяка и других токсичных веществ); II класс — *высокоопасные* (наличие хлористой меди и никеля, азотокислого свинца, сурьмы и др.); III класс — *умеренно опасные* (наличие, например, сернокислой меди, оксида свинца, четыреххлористого углерода); IV класс — *малоопасные.*

Класс опасности промышленных отходов определяется природопользователем расчетным путем по нормативному документу «Методические рекомендации и порядок определения класса опасности отходов» (1996).

Природопользователь, кроме того, обязан организовать сбор, временное хранение токсичных отходов на территории предприятия, рассчитать норматив образования отходов, согласовать лимит на размещение отходов с территориальными органами Госсанэпидемнадзора и составить паспорт опасных отходов.

Нетоксичные ПО используются для засыпки оврагов, в качестве изолирующего материала на свалках бытовых отходов, при строи-

тельстве дорог и дамб. Часть токсичных отходов, слаборастворимых в воде, III и IV классов опасности допускается для совместного складирования и сжигания с твердыми бытовыми отходами при условии соблюдения санитарно-гигиенических требований.

Основная номенклатура токсичных ПО в соответствии со СНиП 2.01.28—85 должна подвергаться обработке на специальном региональном полигоне. *Полигон* является природоохранным объектом, включающим:

— завод по обезвреживанию и утилизации токсичных ПО;

— гараж специализированного автотранспорта;

— участок захоронения неутилизируемых токсичных отходов;

— сооружения очистки поверхностных вод, хозяйственно-бытовой канализации и дренажа.

На полигоне осуществляют сбор токсичных ПО на предприятиях, их транспортировку, прием, учет, обезвреживание и захоронение.

Статистика промышленных стран Европы показала, что подавляющее количество токсичных ПО (до 80 %) органического происхождения. По физическому состоянию и теплотворной способности отходы бывают:

Твердые, органического происхождения.	50 ÷ 60 %	(15 ÷ 20 МДж/кг)
Пасты и шламы органического происхождения . .	10 ÷ 15 %	(12 ÷ 25 МДж/кг)
Жидкие органические отходы.	10 ÷ 15 %	(5 ÷ 28 МДж/кг)
Шламы, содержащие органические и минеральные загрязнения.	6 ÷ 8 %	
Отходы неорганические	8 ÷ 10 %	

Наиболее распространенными методами обезвреживания токсичных промышленных отходов в настоящее время являются:

— для отходов органического происхождения — сжигание при высоких температурах —900 ÷ 1100°С (при наличии галогенсодержащих соединений до 1200 ÷ 1400°С). При этом методе большая часть всех токсичных отходов обезвреживается, а объем несгоревших остатков может быть доведен до 10 % первоначального объема;

— для неорганических веществ — физико-химическая обработка в несколько стадий, которая приводит к образованию безвредных, нерастворимых в воде соединений.

Типичная установка для сжигания неутилизируемых токсичных органических отходов представлена на рис. 10.28. Вращающийся барабан печи является основным элементом установки для сжигания отходов. Загрузка печи твердыми отходами осуществляется мостовым краном с грейфером, пастообразные отходы в бочках подаются при

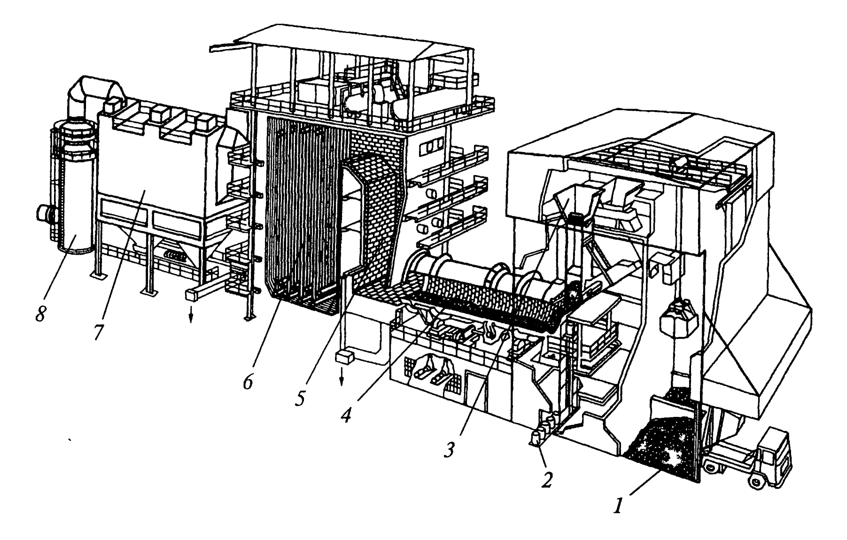


Рис. 10.28. Установка термического обезвреживания токсичных промышленных отходов (фирма «МАН» — ФРГ):

1 — разгрузка отходов; *2* — загрузка бочек; *3* — загрузка сыпучих отходов; *4* — печь с вращающимся барабаном; *5* — камера дожигания; *6* — котел-утилизатор; *7* — электрофильтр; *8* — скруббер

помощи роликовых транспортеров, жидкие отходы — насосами по трубопроводам к форсункам-горелкам. Скорость дымовых газов в барабане $2 \div 3$ м/с, коэффициент избытка воздуха $\alpha = 2{,}2 \div 2{,}5$, время нахождения отходов в печи $0{,}5 \div 2$ ч.

В камере дожигания достигается полное окисление всех органических загрязнений дымовых газов. В нижней части печи располагается система мокрого золо-шлакоудаления. Для охлаждения выходящих из камеры дожигания дымовых газов и утилизации теплоты сгорания отходов с целью выработки перегретого водяного пара устанавливается котел-утилизатор. Система очистки дымовых газов, как правило, состоит из очистки газов от пыли (циклон, электрофильтр) и адсорбции токсичных газов (скруббер, орошаемый водным раствором солей с добавлением щелочных компонентов).

Технологии переработки неорганических отходов основываются на механических, гидродинамических, тепловых, диффузионных, химических, биохимических процессах. В реальной технологии обезвреживания и утилизации токсичных отходов сочетаются различные методы воздействия.

Наиболее распространенные методы подготовки твердых отходов к переработке, лежащие в основе большинства технологических



Рис. 10.29. Наиболее распространенные методы подготовки твердых отходов к переработке

схем, представлены на рис. 10.29. Пример технологической схемы переработки аккумуляторного лома изображен на рис. 10.30.

Твердые бытовые отходы (ТБО). В мировой практике известно более 20 методов переработки ТБО, которые по конечной цели делятся на *ликвидационные* (в основе санитарно-экологические задачи) и *ути-*

Аккумуляторный лом
Раствор соды
Дробление
Молотковая дробилка
>60 мм
Классификация
Грохот
Сепарация <60 мм
Магнитный сепаратор
Магнитная фракция
Классификация
Грохот
<1 мм
>1 мм
Сепарация
Шлам на восстановление
PbO, $PbSO_4$
Гидросепаратор
Свинец
Полимеры (ПВХ ПП)

Рис. 10.30. Технологическая схема переработки аккумуляторного лома

лизационные (использование вторичных ресурсов). Большинство этих методов не нашли значительного распространения в связи с их технологической сложностью и высокой себестоимостью переработки ТБО.

Наибольшее практическое распространение получили следующие методы:

— складирование на полигоне (свалке);
— сжигание;
— аэробное биотермическое компостирование;
— комплекс компостирования и сжигания (или пиролиза).

Полигон ТБО — наиболее простое и дешевое сооружение, устраиваемое в местах, где основанием могут служить глины и тяжелые суглинки. Основная масса ТБО вывозится на такие полигоны (свалки), которые являются источниками загрязнения почвы, грунтовых вод и атмосферы, служат рассадником мух и крыс.

В государствах с жестким законодательством по охране окружающей среды ТБО либо сжигают, либо перерабатывают. К 2010 г. страны ЕЭС предполагают запретить 100 %-е захоронение ТБО на полигонах.

Самая серьезная проблема — это загрязнение грунтовых вод. Вода с растворенными в ней загрязнителями называется **фильтратом**, в котором, наряду с остатками разлагающейся органики, красителей и другими химикатами, присутствует железо, ртуть, свинец, цинк и другие металлы из ржавеющих консервных банок, разряженных батареек и других электроприборов.

Вторая проблема — образование метана. У захороненного мусора нет доступа к кислороду. Поэтому его разложение идет анаэробно, с образованием биогаза, на 2/3 состоящего из легковоспламеняющегося метана. Образуясь в толще захоронения отходов, он может распространяться в земле горизонтально, проникая в подвалы зданий, тоннели коммуникаций, накапливаться там и взрываться. Метан, распространяющийся вверх, отравляет корни, губит растительность в местах захоронения отходов.

Реальная плата населения за захоронение ТБО на полигонах составляет от 30 до 50 руб. на человека в год и около 60 % этих средств расходуется на транспортировку.

На рис. 10.31 представлена схема современного захоронения отходов с системой защиты окружающей среды. Могильник расположен на возвышенности, значительно выше уровня грунтовых вод. Дно его изолировано уплотненным слоем глины, на котором находится слой щебня для отвода фильтрата и метана. Один слой мусора укладывается на другой, уплотняется, засыпается грунтом так, что

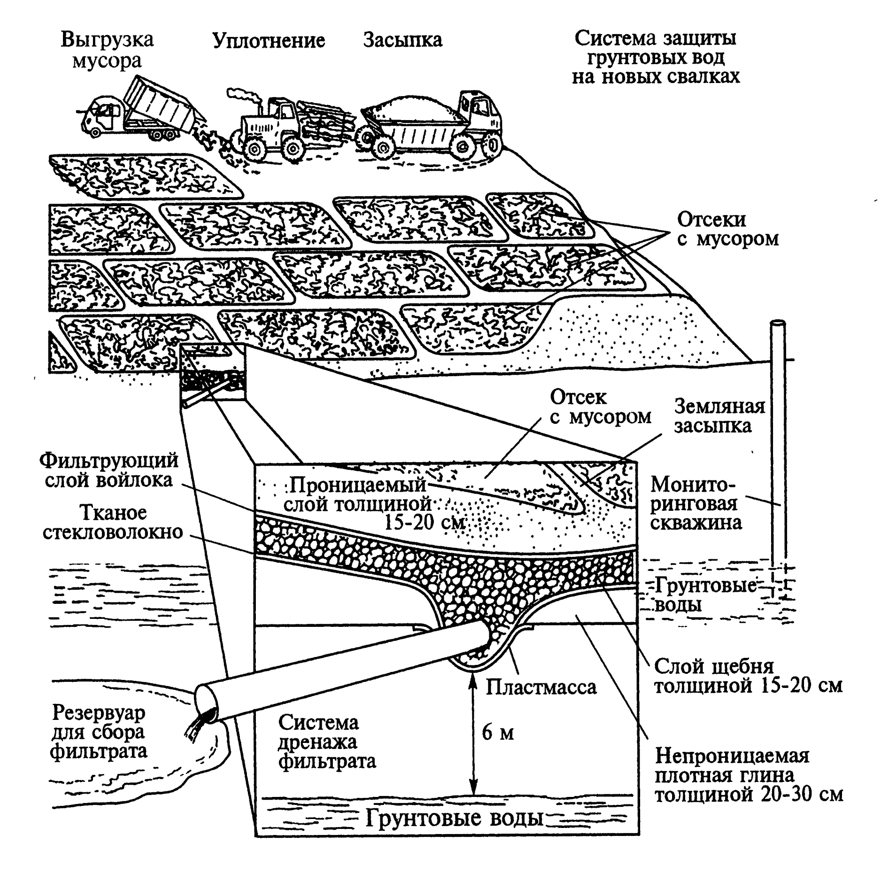


Рис. 10.31. Организация работ на современном полигоне ТБО

получается пирамидообразная насыпь, с которой стекает вода. Могильник окружен скважинами, с помощью которых ведется мониторинг загрязнения грунтовых вод.

По периметру всей территории полигона ТБО устраивается легкое ограждение, осушительная траншея глубиной более 2 м или вал высотой не более 2 м. Подробные гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для ТБО сформулированы в СанПиН 2.1.7.1038—01. Появился новый документ.

Мусоросжигательные заводы получили значительное распространение в странах с высокой плотностью населения и дефицитом свободных площадей (ФРГ, Япония, Швейцария и др.).

Теплота сгорания ТБО линейно зависит от массовой доли углерода и водорода в них и сопоставима с торфом и бурыми углями. Так,

например, ТБО г. Москвы (Q = 7,23 МДж/кг) даже превосходят некоторые сорта бурого угля. Таким образом, использование ТБО можно рассматривать и с точки зрения энергосбережения, так как заводы оснащены оборудованием для утилизации тепла. На мусоросжигательные заводы возможен прием инфицированных отходов медицинских учреждений.

На существующих мусоросжигающих заводах в печах с колосниковыми решетками при относительно низких температурах (600 ÷ 800°С) сгорает всего 70 ÷ 75 % составляющих ТБО. Несгоревшие остатки требуют специального захоронения или обезвреживания.

Главный недостаток мусоросжигательных заводов — трудность очистки от примесей отходящих в атмосферу газов, особенно от диоксинов. Для снижения экологической опасности приходится предусматривать вторую и третью ступени газоочистки, что еще больше увеличивает капитальные затраты. Следует отметить, что на всех заводах производится извлечение в качестве вторичного сырья черного металлолома.

В московском регионе с середины 70-х годов функционируют три мусоросжигательных завода, в настоящее время они реконструируются и строятся еще четыре. Строительство заводов позволяет сберечь сотни гектаров дорогих пригородных земель, занимаемых полигонами, и сократить потребность в парке мусоровозов.

Высокая степень очистки дымовых газов полностью удовлетворяет требованиям российских нормативов по содержанию вредных веществ. Это достигается за счет установки реактора, в котором активированный уголь улавливает диоксины, фураны и соединения тяжелых металлов; известковое молоко нейтрализует SO_2, HF, HCl; концентрация NO_x существенно снижается за счет системы впрыска карбамида; рукавный фильтр улавливает летучую золу.

Образующийся при сжигании ТБО шлак, зола и нерастворимые соли кальция из реактора перерабатываются в строительные материалы. Утилизация вырабатываемого тепла (30 т пара в час) позволяет полностью обеспечить потребности завода в тепловой и электрической энергии, а их излишки передавать в городские электрические сети.

Мусороперерабатывающие заводы, работающие по технологии аэробного биотермического компостирования, эксплуатируются во многих европейских странах, а также в крупных городах СНГ (Санкт-Петербурге, Москве, Нижнем Новгороде, Тольятти, Минске, Ташкенте и др.). При этой технологии ТБО обезвреживаются и превращаются в компост — органическое удобрение, используемое, на-

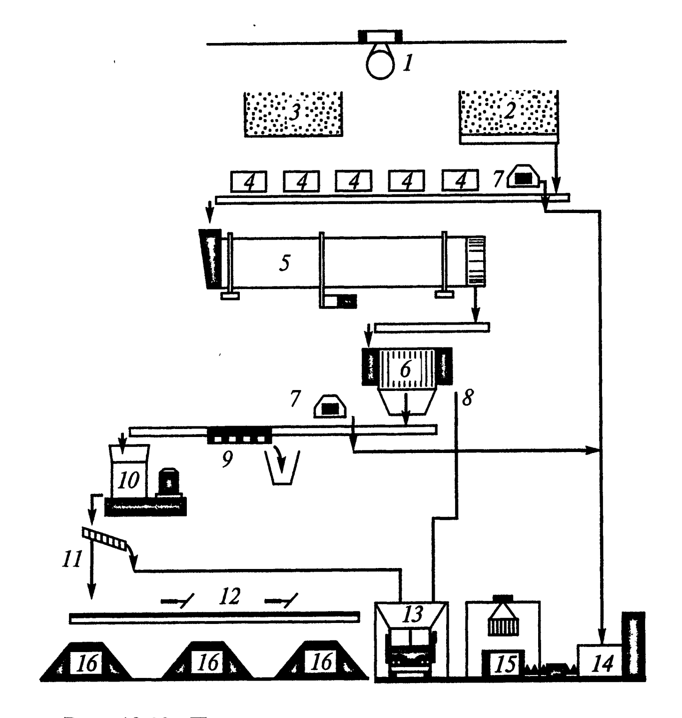


Рис. 10.32. Принципиальная технологическая схема мусороперерабатывающего завода:

1 — грейферный кран; *2* — приемный бункер, оснащенный пластинчатым питателем; *3* — резервный бункер; *4* — пункт отбора утильных фракций; *5* — биотермический барабан; *6* — цилиндрический грохот для компоста; *7* — подвесной конвейерный железоотделитель; *8* — крупный отсев; *9* — сепаратор цветного металлолома; *10* — дробилка для доизмельчения компоста; *11* — контрольный грохот для компоста; *12* — плужковый сбрасыватель; *13* — бункер балласта; *14* — накетировочный пресс для металлолома; *15* — склад черного металлолома; *16* — штабеля компоста

пример, для городского озеленения или в качестве биотоплива для теплиц.

Завод работает по следующей технологии (рис. 10.32). Прибывающие мусоровозы разгружаются в приемный бункер *2*, оснащенный пластинчатым питателем. Крупногабаритные предметы извлекаются грейферным краном *1*. Пластинчатый питатель перегружает ТБО на ленточный транспортер, проходящий под электромагнитным сепаратором — железоотделителем *7* и через посты ручного отбора утильных фракций *4*. На постах ручного отбора с транспортера отбираются бумага, картон, текстиль, полимерная пленка, пластиковые бутылки, стекло, цветной металл. Отобранное вторсырье попадает на вспомогательные конвейеры и далее к прессам *14* или свободному

складированию *15.* Далее конвейер проходит в отделение биопереработки, где установлен биотермический вращающийся барабан *5* диаметром 4 м и длиной 36 или 60 м. Экспозиция в биобарабане около двух суток при температуре 50 ÷ 60°С. Биотермическое разложение органического вещества происходит в результате жизнедеятельности сапрофитных аэробных микроорганизмов с выделением тепла биохимических реакций. Далее компостируемый материал поступает на специальное сито (грохот) *6*, где компост разделяется на 2 потока: балласт *8* и просеянный компост. Компост направляется в дробилку *10* и вторичный грохот *11.* После измельчения и повторного грохочения компост направляется на площадку дозревания *16.* Оставшийся балласт *13* подлежит либо использованию, либо захоронению на полигоне.

Комплексные заводы включают в себя технологические линии по компостированию около 50 % влагосодержащих органических фракций, сжиганию 20 % сухих фракций и вторичному использованию около 30 % ТБО. Такая технология может быть осуществлена только при активном участии всего населения, когда первичная сортировка ТБО ведется раздельно в специальные контейнеры для пищевых отходов, стекла, полимеров, макулатуры и т. п.

Сравнительные экономические показатели различных технологий обезвреживания и утилизации ТБО в средней климатической зоне при производительности 150 ÷ 300 тыс. т/год представлены в табл. 10.7.

Таблица 10.7. **Удельные затраты различных технологий обезвреживания ТБО, дол./т**

Показатель	Технологический процесс			
	Складирование на полигонах	Сжигание с утилизацией тепла	Компостирование	Компостирование + сжигание
Удельные капитальные вложения	10 ÷ 50	400 ÷ 500	150 ÷ 200	280 ÷ 350
Удельные эксплуатационные затраты	3 ÷ 4	32 ÷ 40	24 ÷ 26	30 ÷ 32

10.3.2. Требования к пищевым продуктам

В соответствии с Федеральным законом «О качестве и безопасности пищевых продуктов» от 2000 г. к пищевым относятся продукты в натуральном или переработанном виде, употребляемые в пищу, бутылированная питьевая вода и напитки, алкогольная продукция, же-

вательная резинка, а также пищевые и активные биологические добавки.

Безопасность пищевых продуктов — состояние обоснованной уверенности в том, что продукты при обычных условиях их использования не являются вредными и не представляют опасности для здоровья нынешнего и будущих поколений.

Закон запрещает находиться в обороте пищевым продуктам, которые не имеют:

— документов изготовителя или поставщика о качестве и безопасности;

— установленных сроков годности, или сроки годности которых истекли;

— не имеют маркировки, содержащей сведения, предусмотренные законом (пищевая ценность, условия хранения и др.).

Такие пищевые продукты признаются некачественными и опасными, подлежат утилизации или уничтожаются. Утилизация продуктов — это использование их в целях, отличных от тех, для которых продукты предназначены и в которых обычно используются. Возможность использования некачественных пищевых продуктов в качестве корма животным согласовывается с ветеринарной службой РФ.

Новые пищевые продукты, изготовленные в России, подлежат государственной регистрации, а импортные — регистрации до их ввоза на территорию РФ. Предназначенные для регистрации продукты должны удовлетворять требованиям органолептических и физико-химических показателей, соответствовать нормативным требованиям к допустимому содержанию химических (в том числе радиоактивных), биологических веществ, микроорганизмов и других биологических организмов, представляющих опасность для здоровья.

Государственный надзор и контроль в области обеспечения безопасности пищевых продуктов осуществляется также над материалами и изделиями, контактирующими с продуктами: упаковка, тара, посуда, технологическое оборудование, приборы. Работники, связанные с изготовлением и оборотом пищевых продуктов, занятые в сфере общественного питания, проходят обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры.

Безопасность пищевых продуктов в мировом сообществе признана важнейшей задачей, от решения которой зависит развитие общества. С принятием Федерального закона ужесточен контроль за содержанием вредных веществ в пищевых продуктах. Особое внимание уделяется наличию *тяжелых (токсичных) металлов* и *нитратов* в продуктах массового употребления, таких как овощи, молочные продук-

ты, алкогольные и безалкогольные напитки, в которых важным составляющим компонентом является вода.

В результате газовых выбросов и гальванических стоков промышленных предприятий сильное загрязнение почв и грунтовых вод *тяжелыми металлами* в совокупности с сернистым загрязнением при сжигании каменного угля приводит к потере плодородия почв. Вдоль оживленных автомагистралей в полосе до 300 м почва и все, что произрастает на ней, отравлено свинцом из-за использования в качестве добавки к топливу тетраэтилсвинца. Сельскохозяйственные посадки и выпас молочного скота в этой зоне не допустим. Ниже в качестве примера приведены ПДК, мг/кг, токсичных металлов в соответствии с «Гигиеническими требованиями к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов» СанПиН 2.3.2.560—96:

Продукт	Химический элемент					
	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Zn
Минеральная вода	0,1	0,01	0,1	0,005	1,0	5,0
Пиво	0,3	0,03	0,2	0,005	5,0	10

Нитраты — это соли азотной кислоты, которые накапливаются в продуктах и воде при избыточном содержании в почве азотных удобрений. К избытку нитратов наиболее чувствительны дети. При остром отравлении человека высоконитратными продуктами поражается желудочно-кишечный тракт, снижается артериальное давление, учащается дыхание, появляется головная боль, потеря сознания, кома. При хроническом воздействии нитратов — бронхит, артериальная гипертония, рак желудка, слабое физическое развитие эмбрионов и грудных детей.

При хранении и кулинарной обработке содержание нитратов в продуктах питания снижается. Так, к марту в овощах при хранении в сухих, хорошо проветриваемых помещениях количество нитратов уменьшается: в свекле — в 1,5 раза, моркови и капусте — в 3 раза, в картофеле — в 4 раза. Малонитратные овощи в свежем виде хранятся лучше. В соленых и маринованных овощах концентрация нитратов снижается за счет перехода их в рассол. Более эффективное воздействие — горячая водная вытяжка (отваривание), извлекающая до 80 % нитратов.

Проблема нитратов напрямую связана с низкой культурой земледелия — избыточное и неравномерное распределение азотных удобрений по поверхности поля.

К наиболее распространенным пищевым добавкам относятся *консерванты* и *красители*. На упаковке товара они должны обозначаться буквой «Е» с соответствующим номером.

Консерванты — вещества, продлевающие срок хранения продуктов, защищающие их от порчи, вызванной микроорганизмами (бактерии, плесени, дрожжи).

Наиболее используемыми консервантами являются: поваренная соль, этиловый спирт, уксусная (Е260), сернистая (Е220), сорбиновая (Е200), бензойная (Е210) кислоты и некоторые их соли, углекислый газ (Е290), нитриты (Е249), низин (Е234). Сахар в концентрации 50 ÷ 70 % также проявляет антимикробное, консервирующее действие.

Важнейшими консервантами в настоящее время являются сорбиновая кислота и сорбат калия (Е202) — порошки белого цвета, хорошо растворяемые в воде без запаха и вкуса. Их применение сберегает ежегодно миллионы тонн продуктов питания (консервы, концентраты, напитки, плодово-ягодные соки, хлебобулочные и кондитерские изделия, зернистая икра, сыры, колбасы, молочные продукты), они применяются также для обработки пищевых упаковочных материалов.

Некоторые виды импортных продуктов могут содержать опасные консерванты, вызывающие:

— злокачественные опухоли — Е131, Е152, Е210, Е240, Е330, Е447;

— заболевания печени и почек — Е171, Е173, Е320, Е321;

— заболевания желудочно-кишечного тракта — Е221, Е322, Е339, Е405, Е463.

Красители в пищевой промышленности применяются для окрашивания кондитерских изделий, выпечки, мороженого и других молочных продуктов, безалкогольных и алкогольных напитков, сыров, мясных и рыбных продуктов. Для придания необходимых оттенков применяют как натуральные, так и синтетические красители. Большинство натуральных красителей, например, бета-каротин (Е160а), антоцианин (Е163), куркума (Е100), карамель (Е150) и др. являются безвредными для человека, но не очень стойкими под воздействием физических и химических факторов. Синтетические красители обладают значительными технологическими преимуществами по сравнению с натуральными, дешевле дают яркие, легко воспроизводимые стабильные цвета.

Все красители, применяемые отечественной пищевой промышленностью, разрешены для использования в соответствии с СанПиН 2.3.2.256—96, прошли гигиеническую экспертизу.

Контрольные вопросы к главе 10

1. Какие вещества поступают в атмосферный воздух при сварке и пайке?
2. Назовите токсичные газы, поступающие от ДВС в атмосферу.
3. Каковы принцип и механизм улавливания загрязнений в электрофильтрах?
4. Назовите основные типы газоочистного оборудования.
5. Назовите основные источники загрязнения водоемов.
6. Каковы виды и область применения механических методов очистки воды?
7. Назовите область применения нейтрализационных методов очистки воды.
8. Где применяют ионообменные методы очистки воды?
9. Назовите область применения электрических методов очистки воды.
10. Где применяют биологическую очистку воды?
11. Каковы основные принципы создания малоотходных производств?
12. Какие инженерные сооружения входят в состав полигона по обезвреживанию и захоронению токсичных ПО?
13. В чем преимущества и недостатки различных способов обезвреживания ТБО?

Глава 11
ЗАЩИТА ОТ ОПАСНОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

11.1. АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ

11.1.1. Понятия и аппарат анализа опасностей

Предмет анализа опасностей. Объектом анализа опасностей является система «человек — машина — окружающая среда (ЧМС)», в которой в единый комплекс, предназначенный для выполнения определенных функций, объединены технические объекты, люди и окружающая среда, взаимодействующие друг с другом. Основными компонентами такой системы являются человек, машина, среда, а сложные процессы, происходящие между основными компонентами, нуждаются в управлении.

Из принципа иерархичности управления следует, что система ЧМС является многоуровневой, а при переходе от одного уровня к другому компоненты системы ЧМС должны претерпевать изменения. Иерархия делит людей как бы на «человека», который формулирует задачу, организует, управляет, и «человека», который совместно с техникой образует компонент «машина», непосредственно осуществляющий замысел. Иначе говоря, человек системы ЧМС более высокого уровня (рис. 11.1) рассматривает людей и технику системы ЧМС более низкого уровня как единый компонент — своеобразную человеко-машину, предназначенную для выполнения определенных функций.

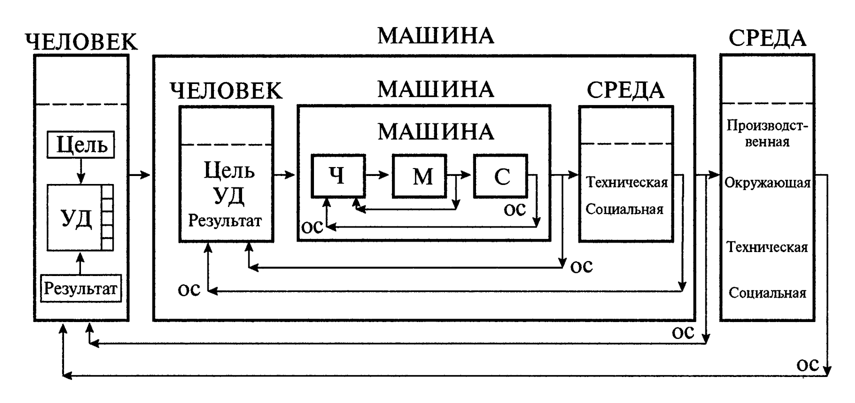


Рис. 11.1. Схематичное изображение системы ЧМС:
Ч — человек, М — машина, С — среда, ос — обратная связь, УД — управляющие действия

В компонент «среда» в общем случае могут входить люди, не входящие в подсистему «человек — машина», производственная среда (техническая, социальная и т. д.) и окружающая среда (например, естественная среда обитания).

Кроме уровней и компонентов, в системе ЧМС целесообразно выделить отдельные стадии жизненного цикла. Для простоты можно ограничиться следующими из них: стадия проектирования, когда определяются задачи, формируются требования, рассчитываются параметры, разрабатываются чертежи; стадия создания, когда в процессе изготовления или производства концепция и конструкция начинают воплощаться в жизнь; стадия эксплуатации, когда система ЧМС осуществляет возложенные на нее рабочие функции и затем ликвидируется.

Таким образом, с точки зрения анализа и управления опасностями необходимо рассматривать и анализировать структурные элементы системы ЧМС, показанные на рис. 11.2.

Взаимодействие компонентов, входящих в систему ЧМС, может быть штатным и нештатным. Нештатное взаимодействие может выражаться в виде ЧП — нежелательных, незапланированных, непреднамеренных событий, нарушающих обычный ход вещей и происходящих в относительно короткий отрезок времени. Катастрофы, аварии, несчастные случаи будем называть ЧП-несчастьями или, сокращенно, н-ЧП. Отказы и инциденты обычно предшествуют н-ЧП, но могут иметь и самостоятельное значение.

Анализ опасностей делает предсказуемыми перечисленные выше ЧП и, следовательно, их можно предотвратить соответствующими мерами. К главным моментам анализа опасностей относится поиск ответов на следующие вопросы. Какие объекты являются опасными?

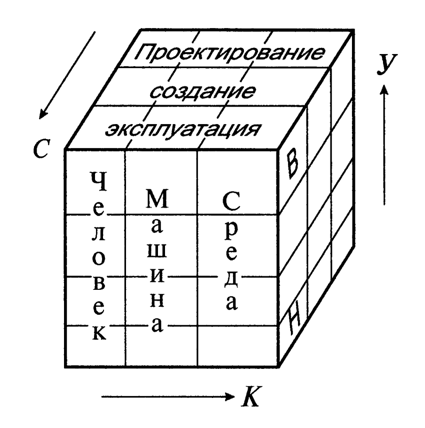


Рис. 11.2. Структурные элементы системы ЧМС. Обозначения:

У — уровни; *В* — высший; *Н* — низший; *С* — стадии жизненного цикла; *К* — компоненты

Какие ЧП можно предотвратить? Какие ЧП нельзя устранить полностью и как часто они будут иметь место? Какие повреждения неустранимые ЧП могут нанести людям, материальным объектам, окружающей среде?

Поиск причин ЧП в конечном счете приводит к анализу системы управления опасностями. На разных стадиях жизненного цикла системы ЧМС функциональные модели системы управления опасностями (СУО) могут состоять из разных элементов, при этом обязательным является наличие информационной системы, обратных связей и алгоритма функционирования. Наиболее сложной является функциональная модель СУО на стадии эксплуатации системы ЧМС (рис. 11.3).

На рис. 11.3 компонент «человек», выбирая цель, создает управляющие действия, которые оказывают влияние на компоненты «машина» и «среда». Результат этих действий анализируется информационной системой управления опасностями, которая производит отбор и обработку информации, а также предлагает варианты возможных решений при обнаружении отклонений в работе системы. В качестве управляющего действия рассматривается также программа управления опасностями (ПУО), которая включает такие составляющие, как политику, проводимую менеджментом в сфере безопасности; технические требования (например, стандарты), заложенные в ПУО; организационные и информационные моменты, а также наличие ресурсов для выполнения задач, поставленных ПУО. Кроме этого, программа включает системы профилактики — готовности, реагирования и восстановления.

Наличие обратных связей и информационной системы позволяет осуществлять сбор данных по отклонениям, отказам, ЧП и т. д., проводить анализ опасностей и их ранжирование, сравнивать результаты функционирования системы ЧМС с программой управления опасно-

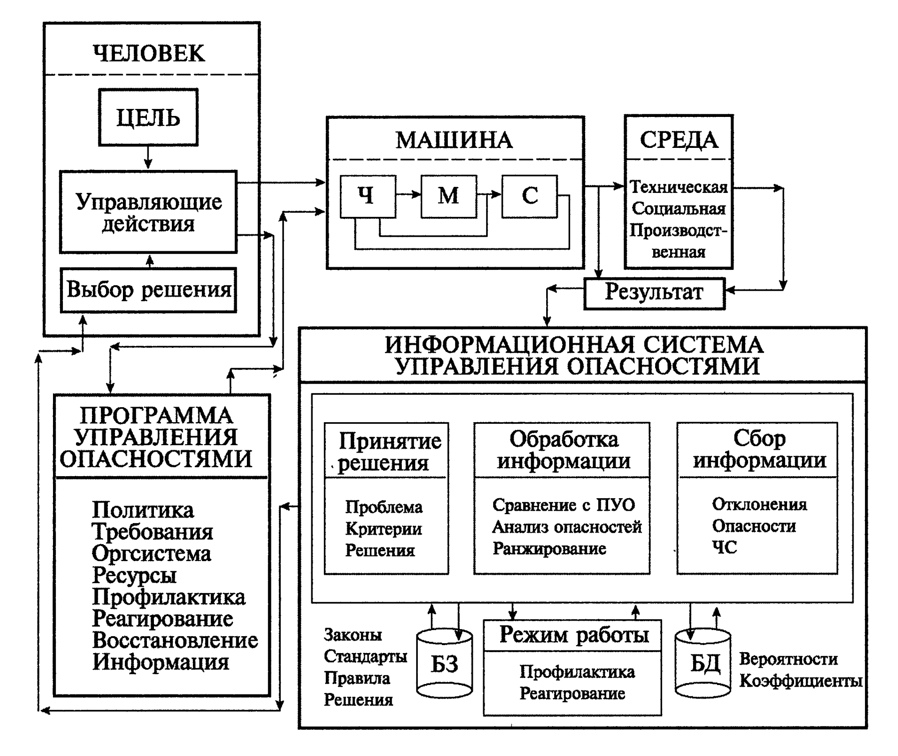


Рис. 11.3. Структурные элементы системы управления опасностями на стадии эксплуатации

стями, принимать решения и выбирать и осуществлять управляющие действия. В производственной системе ЧМС информационные функции, в частности, выполняют: рапорты инспекторов, акты расследования ЧП, протоколы аттестации рабочих мест, инструкции по безопасности и т. д. За счет обратных связей обеспечивается устойчивость функционирования СУО и ее развитие при наличии положительных обратных связей.

Как сказано выше, СУО в общем случае работает в разных режимах и ее важным элементом является алгоритм функционирования, который вместе с некоторыми компонентами СУО можно представить так, как показано на рис. 11.4.

Отметим, что режим работы СУО зависит от типов ЧП, происходящих в системе ЧМС. При режимных ЧП система ЧМС функционирует штатно и работа СУО не выходит за рамки режима профилактики и готовности (см. рис. 11.4).

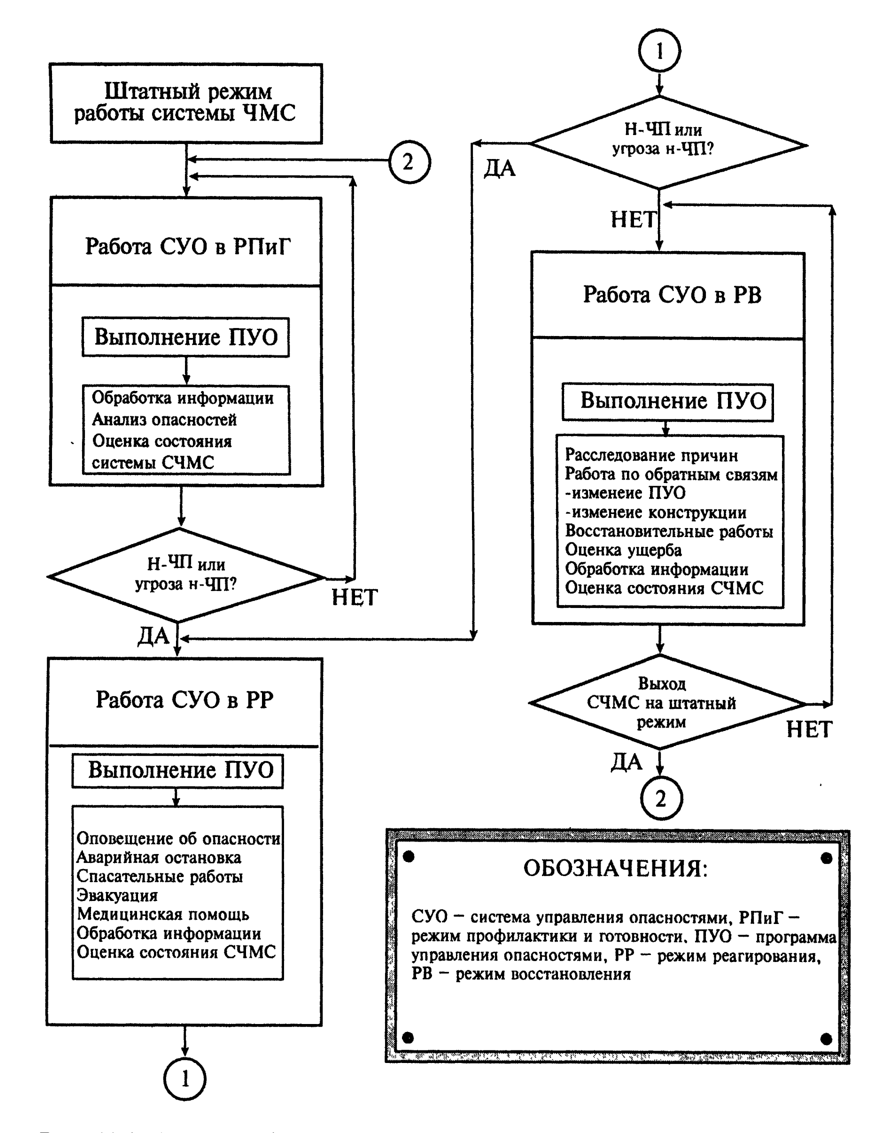


Рис. 11.4. Алгоритм функционирования системы управления опасностями

При проектных и запроектных ЧП система ЧМС функционирует за пределами штатного режима; СУО работает в режиме реагирования и восстановления, при этом, если имеют место проектные ЧП, то исполняются некоторые элементы режима реагирования и режима восстановления (см. рис. 11.4), а при запроектных ЧП — практически

все элементы, заложенные в эти подсистемы, и, в частности, необходимый комплекс восстановительных работ.

Анализ опасностей описывает их качественно и количественно и заканчивается планированием предупредительных мероприятий. Он базируется на знании алгебры, логики и событий, теории вероятностей, статистическом анализе, требует инженерных знаний и системного подхода.

Основные понятия. ЧП и высказывания обычно обозначают прописными буквами *A, B, C, D* и т. д., полагая, например, $A = 1$, если ЧП *A* произошло или высказывание *A* истинно, и $A = 0$, если ЧП не произошло или высказанное ложно. Тождественно истинное высказывание и ЧП, которое происходит всегда (достоверное событие), обозначают через I, а тождественно ложное высказывание и невозможное ЧП — через $\varnothing$. Для этих элементов всегда имеем: $\mathrm{I} = 1$, $\varnothing = 0$.

В табл. 11.1 представлены основные операции, которые могут быть применены к элементам *A, B* — ЧП или высказываниям.

Таблица 11.1. **Двухместные операции над высказываниями и ЧП**

Операция	Обозначение	Формула
НЕ (логическое отрицание, инверсия)	—	$\bar{A} = 1 - A$
ИЛИ (логическая сумма, дизъюнкция)	+	$A + B = \max(A, B)$ (11.1)
И (логическое произведение, конъюнкция)	*	$A * B = \min(A, B)$ (11.1, а)
Импликация	→	$A \rightarrow B = \bar{A} + B$ (11.2)
Эквивалентность	↔	$A \leftrightarrow B = (A \rightarrow B)*(B \rightarrow A) = A * B + \bar{A}*\bar{B}$ (11.2, а)

Примечание. Для упрощения записи знак * часто опускают, например, вместо $A*B*C$ пишут ABC.

В дальнейшем будут рассматриваться только те события, которые относятся к разряду случайных. Катастрофы, аварии, несчастные случаи образуют группу ЧП, которую будем называть ЧП-несчастьями или, сокращенно, н-ЧП (табл. 11.2). Отказы и инциденты обычно предшествуют н-ЧП, но могут иметь и самостоятельное значение.

Согласно принятой терминологии, авария определена как ЧП, заключающееся в повреждении собственности и (или) окружающей среды, а произведение $N * A = K$, где *K* обозначает катастрофу.

Таблица 11.2. **Группы ЧП-несчастий**

Обозначения	N — несчастный случай	$\overline{N}$ — нет несчастного случая
A — авария	$N * A$ Несчастный случай и авария	$A * \overline{N}$ Авария и нет несчастного случая
$\overline{A}$ — нет аварии	$N * \overline{A}$ Несчастный случай и нет аварии	$\overline{A} * \overline{N}$ Нет аварии и нет несчастного случая

Все н-ЧП определяются как повреждения. Вопрос состоит в том, что считать повреждением. Например, повреждение организма может привести к летальному исходу. Однако в других случаях повреждение может быть таким, что его трудно или невозможно будет диагностировать (например, при взрыве установки в рабочего попало мягкое резиновое уплотнение). В настоящее время отсутствует единица «количества повреждения». С точки зрения анализа опасностей, существенным является то, что любое «нулевое повреждение» принимается во внимание и исследуется.

Существуют другие классификации ЧП. Например, по видам несчастных случаев нормативные документы определяют ЧП следующим образом. Повреждение тканей классифицируется как травма, ожог или обморожение; повреждение организма при острых заболеваниях — как отравление, тепловой удар или острое профессиональное заболевание. Повреждение организма может привести к летальному исходу. Эта классификация представлена в табл. 11.3. Логическая формула имеет вид $N = T + Z + D$.

Таблица 11.3. **Вариант классификации несчастных случаев $N = (T + Z + D)$**

Группа T (повреждение тканей)	Группа Z (острые заболевания)	Группа D (повреждения при обстоятельствах)
Травма T_1	Острое профзаболевание Z_1	При стихийных бедствиях D_1
Ожог T_2	Отравление Z_2	При контактах с животными и насекомыми D_2
Обморожение T_3	Тепловой удар Z_3	При повреждении молнией D_3
Летальный исход L	Летальный исход L	Летальный исход, включая утопление L

Анализ опасностей в первую очередь имеет дело с потенциальными повреждающими факторами и потенциальными ЧП. Потенци-

альный повреждающий фактор до некоторой поры может быть скрытым, неявным. Его нелегко распознать, выявить. Однако, анализируя цепь потенциальных событий, можно выделить такое событие, которое позволяет его более четко разглядеть, зафиксировать, назвать или сблизить с повреждаемым объектом. Примеры даны в табл. 11.4.

Таблица 11.4. **Источники опасности и повреждающие факторы**

Источник опасности	Потенциальное ЧП	Повреждающий фактор
Сосуд с газом под давлением	Механический взрыв	Летящие осколки
	Утечка из сосуда	Токсичный газ
Электрическая установка	Замыкание на корпус	Электрический ток
Подъемный кран	Обрыв троса	Движущийся груз
Нагретый коллектор	Повреждение изоляции	Теплота
Ядерная установка	Вход в зону	Радиация
Взрывоопасная смесь	Химический взрыв	Ударная волна

Следует отметить, что деление на источник, потенциальное ЧП и повреждающий фактор производится в зависимости от тех задач, которые ставятся. Например, летящие осколки (см. табл. 11.4) можно при необходимости отнести к понятию источник опасности. Тогда потенциальным ЧП может стать попадание осколков в человека, а повреждающим фактором — кинетическая энергия.

ЧП-несчастья создают повреждения, которые могут поддаваться или не поддаваться количественной оценке, например смертельные случаи, уменьшение продолжительности жизни, вред здоровью, материальный ущерб, ущерб окружающей среде, неспокойное воздействие на общество, дезорганизация работы. Последствия или «количество нанесенного вреда» зависят от многих факторов, например от числа людей, находившихся в опасной зоне, или количества и качества находившихся там материальных ценностей. С целью унификации различные последствия и вред обозначают термином *ущерб*. Ущерб измеряют денежным эквивалентом или числом летальных исходов, или количеством травмированных людей и т. п. Как это ни кощунственно, но между этими единицами измерения желательно найти эквивалент, чтобы ущерб можно было измерять в стоимостном выражении.

Техника вычисления вероятностей ЧП. Через $P\{E\}$ будем обозначать *вероятность ЧП* E*. Вероятность достоверного события $P\{I\} = 1$, вероятность невозможного события $P\{\varnothing\} = 0$, вероятность суммы попарно несовместимых ЧП ($E_iE_j = \varnothing$, если $i \neq j$) равна**

$$P\left\{ \hat{\sum_{i=\overline{1,n}}} E_i \right\} = \sum_{i=1}^{n} P\{E_i\}. \tag{11.3}$$

ЧП E_1, E_2, ..., E_n образуют полную группу событий, если они попарно несовместимы и одно из них обязательно происходит:

$$\left.\begin{array}{l} E_i E_j = \varnothing \text{ при } i \neq j \\ \hat{\sum_{i=\overline{1,n}}} E_i = I. \end{array}\right\} \tag{11.4}$$

Из соотношений (11.3) и (11.4) следует, что для полной группы событий

$$\sum_{i=1}^{n} P\{E_i\} = 1. \tag{11.5}$$

В частности, для равновозможных ЧП ($P\{E_i\} = p$, $i = 1, 2, ..., n$), образующих полную группу событий, вероятность ЧП

$$p = 1/n. \tag{11.6}$$

Противоположные события E и $\overline{E}$ образуют полную группу, поэтому

$$P\{E\} = 1 - P\{\overline{E}\}. \tag{11.7}$$

Полную группу событий можно генерировать с помощью двоичных чисел. Делают это следующим образом. Для n ЧП записывают де-

---

* Предполагается, что читатель изучал теорию вероятностей, и данный параграф ставит своей целью изложение основных правил применительно к анализу опасностей.

** Сумма высказываний обозначается обычно знаком $\bigvee_{i=1}^{n}$, а сумма событий — знаком $\bigcup_{i=1}^{n}$. Для обозначения суммы удобно внести единый знак $\hat{\sum_{i=\overline{1,n}}}$, похожий на знак суммы $\sum_{i=1}^{n}$. Соответственно для произведения событий или высказываний вводим знак $\hat{\prod_{i=\overline{1,n}}}$, похожий на знак произведения $\prod_{i=1}^{n}$.

N п/п	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

Рис. 11.5. Генерирование полной группы событий

сятичные числа от 0 до $(2^n - 1)$ и их представления в двоичной системе счисления так, как это сделано на рис. 11.5. Здесь, например, номер три дает набор 011, который соответствует ЧП $\bar{X} * Y * Z$.

На практике часто пользуются формулой объективной вероятности:

$$P\{E\} = n_E / n, \tag{11.8}$$

где n и n_E — соответственно общее число случаев и число случаев, при которых наступает ЧП E; при этом, если n не конечно, то оно должно быть достаточно большим ($n \to \infty$).

Определим вероятность ЧП-несчастий. Н-ЧП есть сумма

$$S = A + N. \tag{11.9}$$

Несчастный случай N и авария A могут наступать совместно. Поэтому формула (11.3) для определения вероятности $P\{S\}$ непригодна. Однако с помощью двоичных чисел можно выделить полную группу событий: $\bar{A}\,\bar{N}, A\bar{N}, \bar{A}N, AN$. Тогда для аварии $A = A\bar{N} + AN$, несчастного случая $N = N\bar{A} + AN$ и н-ЧП $S = N + A = A\bar{N} + N\bar{A} + AN$ можно записать:

$$P\{A\} = P\{A\bar{N}\} + P\{AN\}, \tag{11.10}$$

$$P\{N\} = P\{\bar{A}N\} + P\{AN\}, \tag{11.11}$$

$$P\{S\} = P\{A\bar{N}\} + P\{N\bar{A}\} + P\{AN\}. \tag{11.12}$$

Из этих соотношений находим вероятность н-ЧП:

$$P\{A + N\} = P\{A\} + P\{N\} - P\{AN\}. \tag{11.13}$$

Если катастрофа невозможна $K = AN = \varnothing$, то $P\{AN\} = 0$. Формула (11.13) останется справедливой, если вместо ЧП A и N в нее подставить любые другие события X и Y. Заметим также, что при использовании понятия объективной вероятности (11.8) выражению (11.12) будет соответствовать соотношение

$$\frac{n_S}{n} = \frac{n_{A\bar{N}}}{n} + \frac{n_{N\bar{A}}}{n} + \frac{n_{AN}}{n}, \tag{11.14}$$

где общее число случаев $n = n_{\bar{A}\bar{N}} + n_{A\bar{N}} + n_{N\bar{A}} + n_{AN}$.

Вероятность ЧП E_1 при условии E_2 обозначают $P\{E_1|E_2\}$. Справедливы следующие соотношения ($P\{E_1\} \neq 0$, $P\{E_2\} \neq 0$):

$$P\{E_1E_2\} = P\{E_2\} \cdot P\{E_1|E_2\} = P\{E_1\} \cdot P\{E_2|E_1\}. \tag{11.15}$$

Вычислим условную вероятность несчастного случая N при условии, что произошла авария A. Общее число случаев, в которых наступает авария A, равно $n_A = n_{A\bar{N}} + n_{AN}$. Тогда вероятность

$$P\{N|A\} = n_{AN}/n_A. \tag{11.16}$$

Если ЧП E_1 и E_2 независимые, т. е. если $P\{E_1|E_2\} = P\{E_1\}$ и $P\{E_2|E_1\} = P\{E_2\}$, то

$$P\{E_1E_2\} = P\{E_1\}P\{E_2\}. \tag{11.17}$$

Распространяя эту формулу на n взаимно независимых ЧП E_1, E_2, ..., E_n, получим

$$P\left\{\hat{\prod_{i=1,n}} E_i\right\} = \prod_{i=1}^{n} p\{E_i\}. \tag{11.18}$$

Если события нельзя считать независимыми, то справедливо более сложное выражение

$$P\left\{\hat{\prod_{i=1,n}} E_i\right\} = P\{E_1\} \cdot P\{E_2|E_1\} \cdot P\{E_3|E_1E_2\} \ldots P\{E_n|E_1E_2\ldots E_{n-1}\}. \tag{11.19}$$

Условные вероятности, входящие в выражение (11.19), эмпирически определить трудно или невозможно. Поэтому всегда стараются поставить задачу так, чтобы воспользоваться более простой формулой (11.18).

11.1.2. Качественный анализ опасностей

Общий подход к анализу опасностей. Анализ опасностей позволяет определить источники опасностей, потенциальные н-ЧП, ЧП-инициаторы, последовательности развития событий, вероятности ЧП, величину риска, величину последствий, пути предотвращения ЧП и смягчения последствий.

На практике анализ опасностей начинают с грубого исследования, позволяющего идентифицировать в основном источники опасностей. Затем при необходимости исследования могут быть углублены и может быть проведен детальный качественный анализ. Выбор того или иного качественного метода анализа зависит от преследуе-

мой цели, предназначения объекта и его сложности. Установление логических связей необходимо для расчета вероятностей ЧП. Методы расчета вероятностей и статистический анализ являются составными частями количественного анализа опасностей. Когда удается оценить ущерб, то можно провести численный анализ риск. При анализе опасностей всегда принимают во внимание используемые материалы, рабочие параметры системы, наличие и состояние контрольно-измерительных средств. Исследование заканчивают предложениями по минимизации или предотвращению опасностей. Главные этапы анализа опасностей показаны на рис. 11.6.

Качественные методы анализа опасностей включают: предварительный анализ опасностей, анализ последствий отказов, анализ опасностей с помощью дерева причин, анализ опасностей с помощью дерева последствий, анализ опасностей методом потенциальных отклонений, анализ ошибок персонала, причинно-следственный анализ.

Предварительный анализ опасностей (ПАО) обычно осуществляют в следующем порядке:

— изучают технические характеристики объекта, системы, процесса, а также используемые энергетические источники, рабочие среды, материалы; устанавливают их повреждающие свойства;

— устанавливают законы, стандарты, правила, действия которых распространяются на данный технический объект, систему, процесс;

— проверяют техническую документацию на ее соответствие законам, правилам, принципам и нормам стандартов безопасности;

— составляют перечень опасностей, в котором указывают идентифицированные источники опасностей (системы, подсистемы, компоненты), повреждающие факторы, потенциальные ЧП, выявленные недостатки.

При проведении ПАО особое внимание уделяют наличию взрывопожароопасных и токсичных веществ, выявлению компонентов объекта, в которых возможно их присутствие, потенциальным ЧП от неконтролируемых реакций и при превышении давления. После того как выявлены крупные системы технического объекта, которые являются источниками опасности, их можно рассмотреть отдельно и более детально исследовать с помощью других методов анализа, описанных ниже.

Анализ последствий отказов (АПО) — преимущественно качественный метод идентификации опасностей, основанный на системном подходе и имеющий характер прогноза. Этим методом можно оценить опасный потенциал любого технического объекта. АПО обычно осуществляют в следующем порядке:

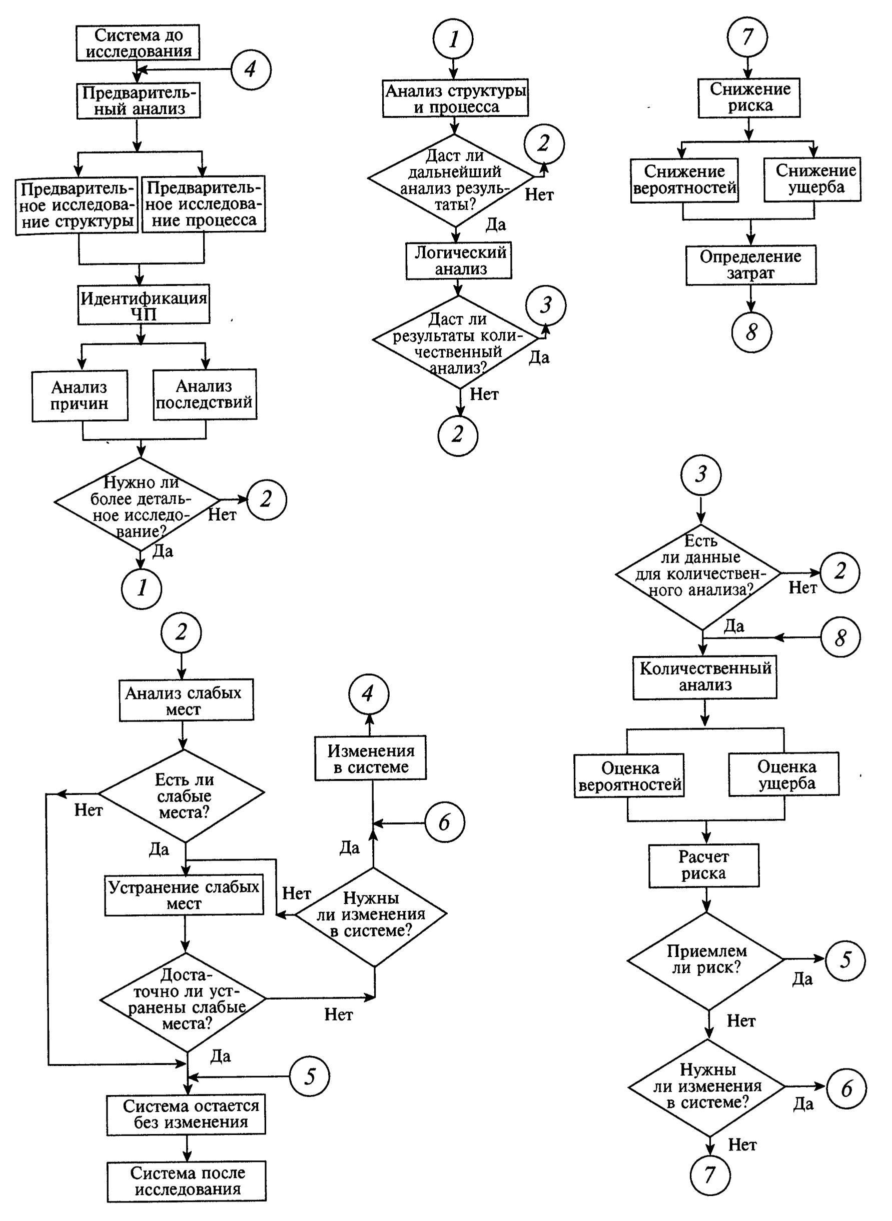


Рис. 11.6. Процедура анализа опасностей

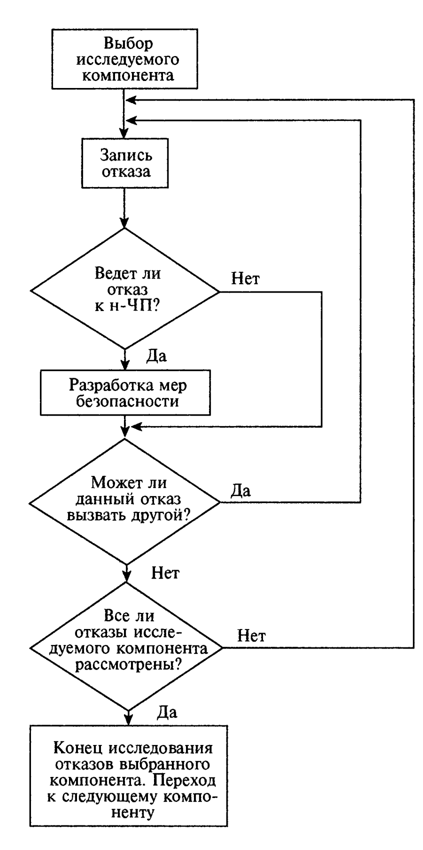


Рис. 11.7. Алгоритм исследования отказов

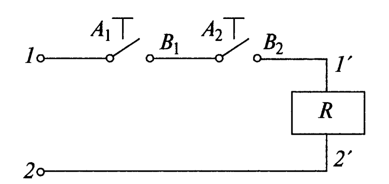


Рис. 11.8. Схема управления пуском машины (пример)

— техническую систему (объект) подразделяют на компоненты;

— для каждого компонента выявляют возможные отказы, используя, например, алгоритм, представленный на рис. 11.7;

— изучают потенциальные ЧП, которые может вызвать тот или иной отказ на исследуемом техническом объекте;

— результаты записывают в виде таблицы;

— отказы ранжируют по опасностям и разрабатывают предупредительные меры, включая конструкционные изменения.

Анализ последствий отказов может выявить необходимость применения других, более емких методов идентификации опасностей. Кроме того, в результате анализа отказов могут быть собраны и документально оформлены данные о частоте отказов, необходимые для количественной оценки уровня опасностей рассматриваемого технического объекта.

Рассмотрим пример. На рис. 11.8 представлена схема управления с двумя кнопками A_1 и A_2, которые при нажатии на них замыкают контакты B_1 и B_2, при этом включается катушка реле R и производится пуск машины (не показана).

Результаты выполненного АПО представлены в табл. 11.5. Отметим только, что опасность возникает, если происходит ЧП — случайный пуск машины. Обозначим: L — короткое замыкание между точками 1 и $1'$; A_i — замыкание i-го контакта вследствие нажатия кнопки; B_i — замыкание i-го контакта вследствие механического повреждения. Тогда для ЧП M — случайный пуск машины при исправном реле — имеем следующую логическую формулу: $M = L + (B_1 + A_1) * (B_2 + A_2)$.

Анализ опасностей с помощью дерева причин потенциального ЧП (АОДП) обычно выполняют в следующем порядке. Сначала выбира-

ют потенциальное ЧП (например, н-ЧП или какой-либо отказ, который может привести к н-ЧП). Затем выявляют все факторы, которые могут привести к заданному ЧП (системы, подсистемы, события, связи и т. д.). По результатам этого анализа строят ориентированный граф. Вершина (корень) этого графа занумерована потенциальным ЧП. Поэтому граф является деревом. В нашем случае дерево состоит из всех тех причин-событий, которые делают возможным заданное ЧП. При построении дерева можно использовать символы, представленные в табл. 11.6.

Таблица 11.5. **Представление результатов АПО для схемы управления с двумя кнопками**

Компонент	Наименование отказа, инцидент	Генерируемые последствия	Потенциальное ЧП	Предупредительные меры
Участок цепи — линия 11′	Короткое замыкание между точками 11′	Включение катушки реле, случайный пуск машины	Несчастный случай	Инструктаж персонала
Кнопка только A_1 или только A_2	Случайное нажатие (инцидент)	Без немедленных последствий	Без немедленных последствий; снижается уровень безопасности	Определить частоту инцидента
Контакты только B_1 или только B_2	Случайное замыкание вследствие механического повреждения	То же	То же	Определить частоту отказа
Участок цепи — линия 22′	Обрыв провода	Нельзя включить машину	Без немедленных последствий	Не требуется

Проведение АОДП возможно только после детального изучения рабочих функций всех компонентов рассматриваемой технической системы. На работу системы оказывает влияние человеческий фактор, например возможность совершения оператором ошибки. Поэтому желательно все потенциальные инциденты — «отказы операторов» — вводить в содержание дерева причин. Дерево отражает статический характер событий. Построением нескольких деревьев можно отразить их динамику, т. е. развитие событий во времени.

Таблица 11.6. **Элементы и символы, используемые для построения дерева причин потенциального ЧП**

№ п/п	Элемент и его символ	Комментарий
1	**Вход**	Элементы «Вход» обозначают соответствующие ЧП
2	**Элемент НЕ** $R=\bar{E}$ 1 E	Элемент НЕ представляет отрицание. Если на входе $I = 0$, то выход $R = 1$, и наоборот E 0 1 R 1 0
3	**Элемент ИЛИ** $E=E_1+E_2$ ⩾1 E_1 E_2	Элемент ИЛИ может иметь любое число входов. Здесь показано два: E_1 и E_2 E_1 0 1 0 1 E_2 0 0 1 1 E 0 1 1 1
4	**Элемент И** $E=E_1*E_2$ * E_1 E_2	Элемент И может иметь любое число входов. Здесь показано два: E_1 и E_2 E_1 0 1 0 1 E_2 0 0 1 1 E 0 0 0 1
5	**Ремарка**	Элемент служит для описания входа, выхода, логических связей
6	**Перенос входа** ***а,б*** *а* *б*	Элемент говорит о том, что построение графа будет продолжено в другом месте

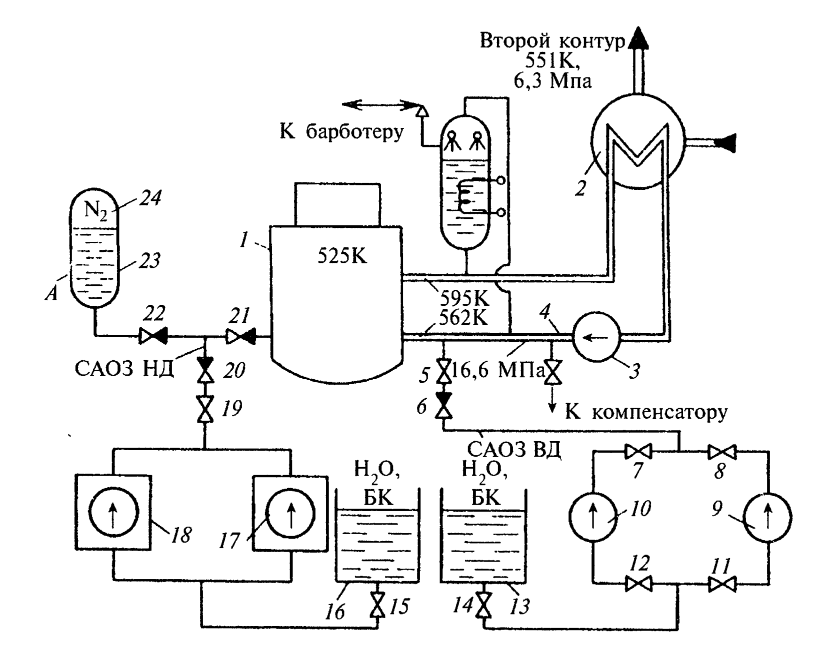


Рис. 11.9. Примерная схема — вариант аварийного охлаждения зоны ядерной энергетической установки

Рассмотрим пример. Допустим, что ядерная энергетическая установка (ЯЭУ) включает первый контур (рис. 11.9), состоящий из реактора *1*, парогенератора *2*, главного циркуляционного насоса (ГЦН) *3* и главных циркуляционных трубопроводов *4*, заполненных теплоносителем — водой (в процессе работы реактора вода получает высокую наведенную радиоактивность). В парогенераторе вода охлаждается и, отдав теплоту теплоносителю второго контура, возвращается ГЦН в реактор для охлаждения твэлов. Перегрев оболочек твэлов и их разрушение можно рассматривать как катастрофу. Поэтому все ЯЭУ снабжены системами аварийного охлаждения активной зоны реактора — САОЗ, которые обеспечивают отвод теплоты из активной зоны в случае разгерметизации циркуляционного контура и потери теплоносителя. САОЗ включает насосы низкого (ННД) *17* и *18* и высокого (НВД) *9* и *10* давления, гидроаккумулятор (ГА) *23*, в котором вода находится под давлением азота *24*, и баки запаса воды и раствора борной кислоты *13* и *16*. Условно примем следующий порядок работы САОЗ при большой разгерметизации циркуляционного контура: сначала работает САОЗ высокого давления (ВД), состоящая из НВД и необходимой арматуры, затем работает САОЗ низкого давления (НД) — ГА и ННД. В процессе эксплуатации ЯЭУ при возникновении «малых» течей допускается временная работа без аварийной остановки; при этом происходит автоматическая компенсация теплоносителя (работают компенсаторы, барботер) или принимаются другие срочные меры к локализации течи и устранению загрязнений помещения радиоактивностью.

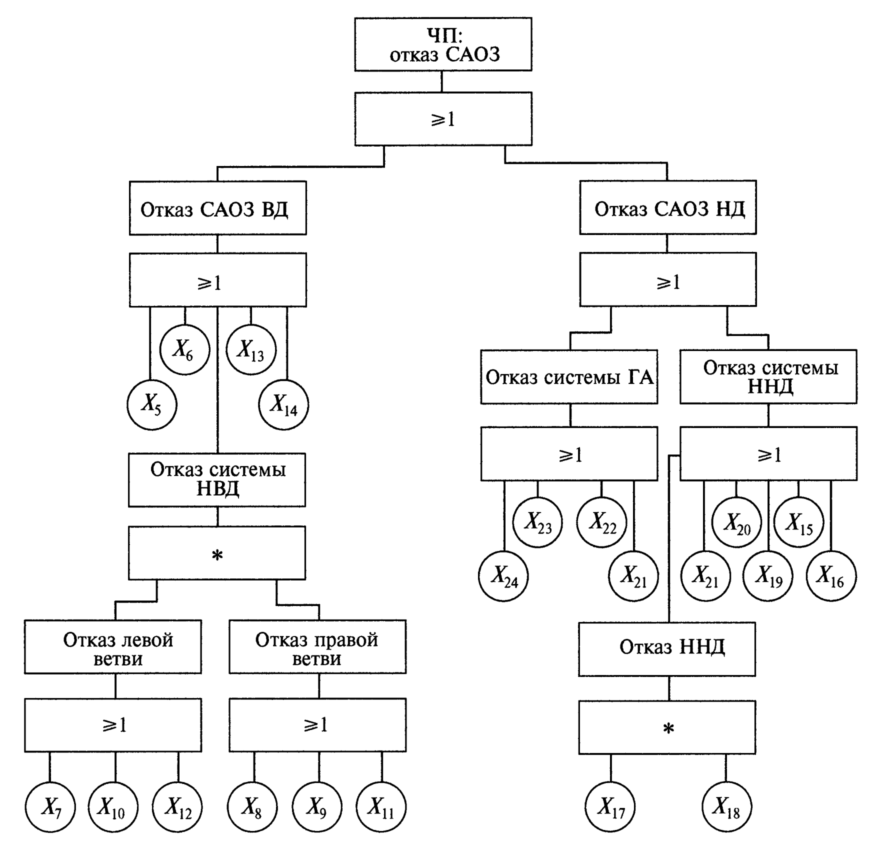


Рис. 11.10. Дерево причин потенциального ЧП — отказа САОЗ ЯЭУ

Задаем потенциально возможное ЧП, ведущее к катастрофе,— отказ САОЗ. Находимы все компоненты системы, которые могут привести к отказу САОЗ. Перечень компонентов X_i дан в табл. 11.7. Используя материал § 11.1.1, устанавливаем логические связи и строим дерево причин (рис. 11.10). Общая формула ЧП «отказ САОЗ» имеет вид:

$$K = X_{17} * X_{18} + (X_8 + X_9 + X_{11}) * (X_7 + X_{10} + X_{12}) + X_5 + X_6 + X_{13} + X_{14} + \\ + X_{15} + X_{16} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24}.$$

В этом выражении X_i одновременно являются наименованиями отказов и их индикаторами, которые принимают значение: 1 — ЧП произошло и 0 — отсутствие ЧП.

Дерево причин показывает, что критическими компонентами являются *5, 6, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24,* так как отказ одного из них достаточен для того, чтобы вызвать катастрофу.

Таблица 11.7. **Перечень компонентов САОЗ ЯЭУ**

Номер компонента и индекса	Компонент	Наименование отказа X_1
САОЗ ВД		
5	Задвижка	Закрыта
6	Обратный клапан	Закрыт
7	Задвижка	Закрыта
8	Задвижка	Закрыта
9	Насос высокого давления	Не работает
10	Насос высокого давления	Не работает
11	Задвижка	Закрыта
12	Задвижка	Закрыта
13	Емкость	Нет воды
14	Задвижка	Закрыта
САОЗ НД		
24	Азот гидроаккумулятора	Нет давления
23	Емкость гидроаккумулятора	Нет воды
22	Обратный клапан	Закрыт
21	Обратный клапан	Закрыт
20	Обратный клапан	Закрыт
19	Задвижка	Закрыта
18	Насос низкого давления с запорной арматурой	Не работает
17	Насос низкого давления с запорной арматурой	Не работает
16	Емкость	Нет воды
15	Задвижка	Закрыта

После завершения АОДП можно от качественных характеристик приступить к количественному анализу.

Во многих случаях представление о состоянии систем, альтернативных путях протекания и результатах какого-либо процесса можно создать с помощью более простого графа. Рассмотрим его построение на примере трех параллельно работающих компонентов A_1, A_2 и A_3 (рис. 11.11). Исходным пунктом является кружок, который представляет в общем виде рассматриваемое состояние. Из этого узла ветви ведут к узлам, представляющим состояние первого компонента (в соответствии с заданными вероятностями), и таким же образом дальше от каждого из этих узлов к следующим, в которых указаны состояния второго и третьего компонентов, пока на выходе не получаются все возможные комбинации событий. В результате получается дерево событий, в котором каждый путь от исходной точки до конечного узла

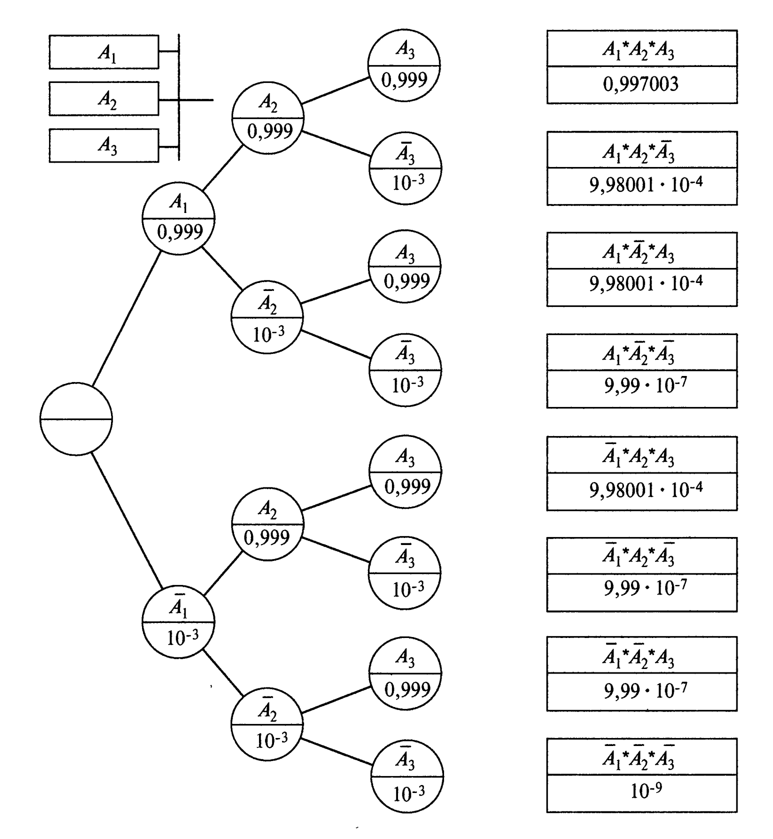


Рис. 11.11. Дерево событий при аварии трех параллельно работающих компонентов

описывает одну из эволюций системы. В прямоугольниках справа от конечных узлов на рис. 11.11 еще раз указан результат события, соответствующий пути к этому конечному узлу. В рассматриваемом примере с тремя параллельно работающими компонентами в прямоугольниках указаны результирующие вероятности для состояния системы, которые при независимости выхода из строя отдельных компонентов получаются простым перемножением отдельных вероятностей (вероятность ЧП в рассматриваемый отрезок времени принята одинаковой для каждого из трех компонентов: $q_i = 10^{-3}$; $i = 1, 2, 3$).

Анализ опасностей с помощью дерева последствий потенциального ЧП (АОДПО) отличается от АОДП тем, что в случае АОДПО задается потенциальное ЧП — инициатор и исследуют всю группу событий — последствий, к которым оно может привести. Таким образом,

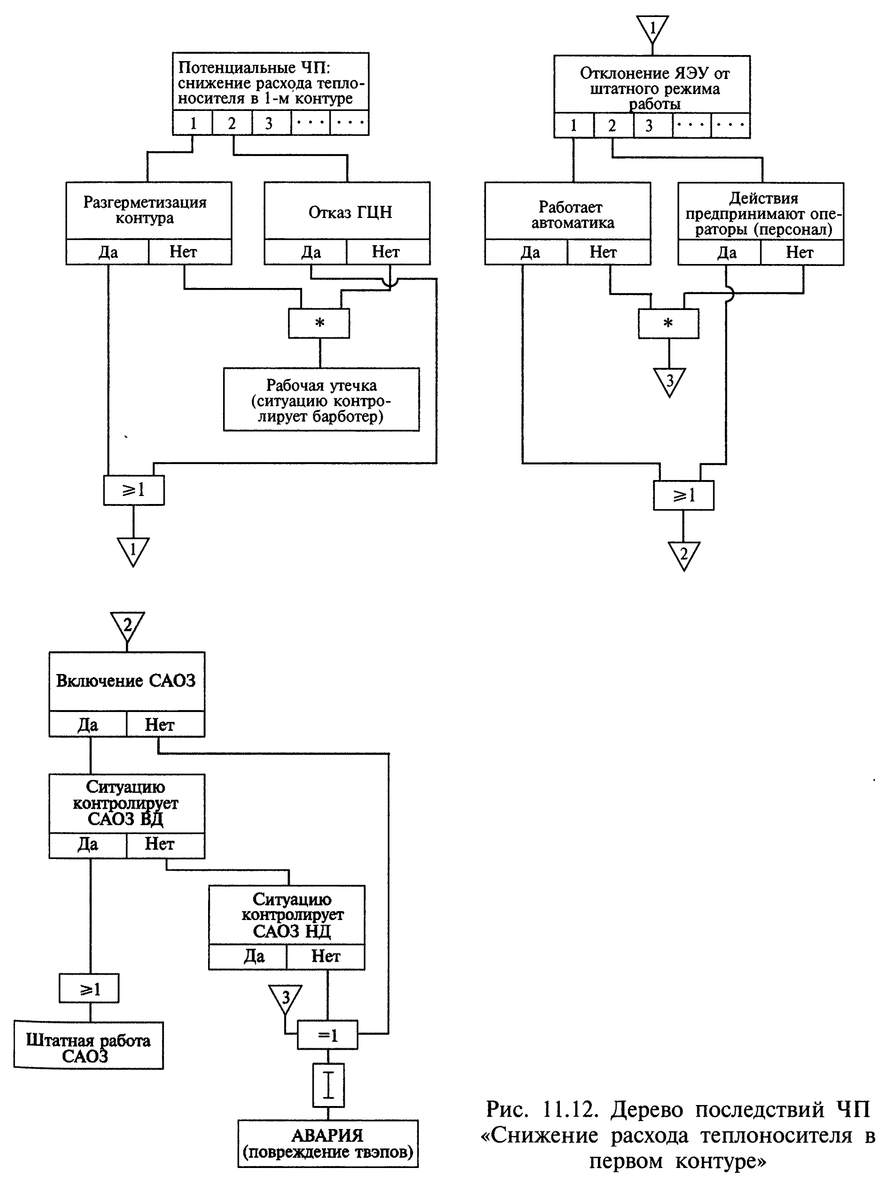


Рис. 11.12. Дерево последствий ЧП «Снижение расхода теплоносителя в первом контуре»

между событиями имеется временная зависимость. АОДПО можно проводить на любом объекте. Как и АОДП, он требует хорошего знания объекта. Поэтому, перед тем как проводить АОДПО, необходимо тщательно изучить объект, вспомогательное оборудование, параметры окружающей среды, организационные вопросы.

Воспользуемся предыдущим примером с ЯЭУ. Зададим потенциальное ЧП «Снижение расхода теплоносителя в первом контуре». Дерево последствий (рассматривались только подсистемы) представлено на рис. 11.12. В число последствий входят: рабочая утечка, штатная работа САОЗ и ЧП-авария. Далее можно переходить к количественному анализу (см. подразд. 11.1.3). Для построения дерева последствий можно использовать символы, представленные в табл. 11.8.

Анализ опасностей методом потенциальных отклонений (АОМПО): *отклонение* — режим функционирования какого-либо объекта, системы, процесса или какой-либо их части (компонента), отличающийся в той или иной мере от конструкторского предназначения (замысла).

Таблица 11.8. **Символы, используемые при построении дерева последствий**

№ п/п	Символ	Комментарий
1	(прямоугольник)	Запись ЧП
2	(прямоугольник с I)	Задержка во времени
3	E_1 E_2 … E_n ≥1 A	Элемент НЕ для не исключающих друг друга ЧП. ЧП A происходит, когда происходит одно ЧП или больше из совокупности E_1, E_2, ..., E_n
4	E_1 E_2 … E_n =1 A	Элемент НЕ для взаимно исключающих друг друга ЧП. ЧП A происходит, когда происходит одно и только одно ЧП из совокупности E_1, E_2, ..., E_n
5	E_1 E_2 … E_n * A	Элемент И. ЧП A происходит, если имеют место все ЧП E_1, E_2, ..., E_n

№ п/п	Символ	Комментарий
6	E; x_1 x_2 … x_n; A_1 A_2 … A_n	Разветвление многоступенчатое. Если ξ_i — индикатор ЧП, то $A_i = E + \xi_i$
7	E; Да Нет; A_1 A_2	Разветвление простое. Если ξ_i — индикатор ЧП, то $A_1 = E + \xi_1$, $A_2 = E + \xi_2$

Метод потенциальных отклонений (МПО) — процедура искусственного создания отклонений с помощью ключевых слов. Этим методом анализируют опасности герметичных процессов и систем. Наибольшее распространение он получил в химической промышленности. АОМПО обычно предшествует ПАО.

После того как с помощью ПАО были установлены источники опасностей (системы, ЧП), необходимо выявить те отклонения, которые могут привести к этим ЧП. Для этого разбивают технологический процесс или герметичную систему на составные части и, создавая с помощью ключевых слов (табл. 11.9) отклонения, систематично изучают их потенциальные причины и те последствия, к которым они могут привести на практике. Для проведения анализа необходимо иметь: проектную документацию на стадии проектирования; алгоритм анализа, который позволяет исследовать один за другим все компоненты (например, рис. 11.13); набор ключевых слов (см. табл. 11.9), с помощью которых выявляют ненормальный режим работы компонента.

Рассмотрим герметичный объект, в котором химические вещества *А* и *В* вступают в реакцию, чтобы образовать продукт *С* (рис. 11.14). Допустим, что потенциальным ЧП является взрыв, происходящий тогда, когда концентрация $C_А$ вещества *А* превысит концентрацию $C_В$ вещества *В* в емкости *1*. Следуя пункту *3* (см. рис. 11.13), выбираем для рассмотрения трубопровод *2—1*. Его предназначение — транспортировать вещество *В* из сосуда *2* в сосуд *1*. Используя первое ключевое слово в первой строке табл. 11.9, создаем отклонение: трубопровод НЕ транспортирует вещество *В* из сосуда *2* в сосуд *1*. Нет подачи вещества *В* в емкость *1*. Используя чертеж-схему движения веществ, уста-

Таблица 11.9. **Ключевые слова для АОМПО**

Ключевые слова	Их значение (смысл)	Комментарий
НЕ или НЕТ (никакой или совсем не)	Полное отрицание предназначения используемого объекта или какой-либо его функции	Предназначение (запланированная функция) ни в коей мере не реализуется, но ничего кроме этого не происходит
ЕЩЕ БОЛЕЕ (в большей степени), ЕЩЕ МЕНЕЕ (в меньшей степени)	Количественное увеличение или количественное уменьшение	Эти ключевые слова относят к тому, что можно характеризовать количественно (например, расход жидкости, температура или такие понятия, как подогрев, реакция и т. д.)
НЕ ТОЛЬКО, НО ТАКЖЕ	Качественное увеличение	Все запланированные функции, операции достигнуты и осуществляются. Однако в дополнение к ним кое-что еще находит свое место (появляются новые функции, операции)
ЧАСТИЧНО (ОТЧАСТИ)	Качественное уменьшение	Достигнуто осуществление только некоторых запланированных функций; некоторые функции не осуществляются
РЕВЕРС, ПЕРЕМЕНА НАПРАВЛЕНИЯ (движение в обратном направлении)	Логическая противоположность предназначенной функции	Относится ко многим функциям (например, обратный поток, противоток). Может применяться к веществам (например, яд вместо противоядия)
ДРУГОЙ ЧЕМ	Полная замена предназначения исследуемого объекта	Ни одна из запланированных функций не осуществлена. Происходит что-то совсем другое

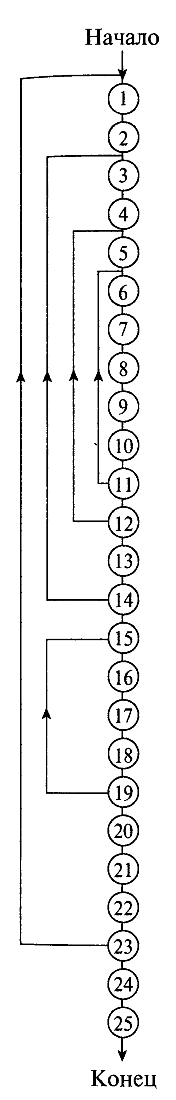


Рис. 11.13. Алгоритм анализа опасностей методом потенциальных отклонений:

1 — выбрать сосуд; *2* — объяснить общее предназначение сосуда и его трубопроводов; *3* — выбрать трубопровод; *4* — объяснить предназначение выбранного трубопровода; *5* — использовать ключевые слова из *i*-й строки табл. 11.9 для создания отклонения; *6* — теоретически развить имеющее смысл отклонение; *7* — исследовать причины (события), которые могут на практике привести к созданному отклонению; *8* — исследовать последствия от созданного отклонения; *9* — выявить опасности; *10* — провести необходимую регистрацию проделанной работы; *11* — повторить шаги *6...10* для всех имеющих смысл отклонений, образованных ключевыми словами *i*-й строки табл. 11.9; *12* — повторить шаги *5...11* для ключевых слов всех других строк табл. 11.9; *13* — поставить на трубопроводе отметку «Исследовано»; *14* — повторить шаги *3...13* для каждого трубопровода; *15* — выбрать компонент, систему или какую-либо их часть; *16* — объяснить предназначение выбранного объекта; *17* — повторить шаги *5...12* для выбранного объекта; *18* — поставить на объекте отметку «Исследовано»; *19* — повторить шаги *15...18* для всех других объектов, компонентов, систем; *20* — объяснить предназначение сосуда; *21* — повторить шаги *5...12*; *22* — поставить на сосуде отметку «Исследовано»; *23* — повторить шаги *1...22* для всех сосудов на данном чертеже; *24* — поставить на чертеже отметку «Исследовано»; *25* — выполнить шаги *1...24* на других чертежах

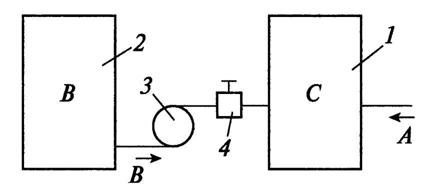


Рис. 11.14. Схема взаимодействия химических веществ (пример)

навливаем потенциальные причины этого события: в питающем резервуаре *2* не осталось вещества *B*; отказал насос *3* подачи вещества *B* [а) испортилась электрическая часть; б) испортилась механическая часть; в) кто-то выключил насос и т. д.]; произошла разгерметизация трубопровода; вещество *B* не проходит через вентиль *4*.

Последствие отклонения: через некоторое время после прекращения подачи вещества *B* концентрация C_A превысит C_B и произойдет взрыв.

Таким образом, на стадии проектирования на участке *2—1* вскрыты опасности. Предстоит разработка предупредительных мероприятий, например аварийной сигнализации, оповещающей о прекращении подачи вещества *B* в емкость *1*, и правил безопасной эксплуатации рассмотренного участка.

Был получен результат во время применения первого ключевого слова. Тем не менее к участку *2—1* должны быть последовательно применены все последующие ключевые слова. Только после окончания такой процедуры выявления опасностей можно переходить к следующему участку.

Анализ ошибок персонала (АОП) включает следующие этапы: выбор системы и вида работы; определение цели; идентификацию вида потенциальной ошибки; идентификацию последствий; идентификацию возможности исправления ошибки; идентификацию причины ошибки; выбор метода предотвращения ошибки; оценку вероятности ошибки; оценку вероятности исправления ошибки; расчет риска; выбор путей снижения риска.

В табл. 11.10 приведены возможные виды потенциальных ошибок, совершаемых операторами. Каждому виду ошибки присвоен гипотетический номер по классификатору. В результате ошибок персонала возможны аварии (пожары, взрывы, механические повреждения, выбросы токсичных химических веществ, проливы и т. д.), несчастные случаи (летальные исходы, травмы и т. д.), катастрофы (разные степени повреждения организма и собственности), которые также могут быть классифицированы. Причины ошибок, вероятности ошибок, возможности исправления ошибок с гипотетической их классификацией даны в табл. 11.11—11.13. Следует иметь в виду, что в основу классификации причин ошибок положены внешние и внутренние факторы, так как факторы стресса могут носить и тот и другой характер. Вероятность ошибки оператора зависит от стажа работы и наличия стрессовых условий на рабочем месте. Опыт показывает, что оператор со стажем может совершать ошибки (см. рис. 11.15, *а*) и что вероятность ошибки оператора в зависимости от величины стресса также имеет оптимум (см. рис. 11.15, *б*).

Таблица 11.10. **Виды потенциальных ошибок и гипотетические номера по классификатору**

Вид потенциальной ошибки	Номер по классификатору
Пропуск действия	Д1
Неправильное действие	Д2
Действие в неправильном направлении	Д3
Много действий	Д4
Мало действий	Д5
Неправильные действия на правильную цель	Д6
Правильные действия на неправильную цель	Д7
Преждевременное действие	Д8
Запоздалое действие	Д9
Слишком длительное действие	Д10
Слишком короткое действие	Д11
Неправильный порядок действий	Д12
Вредное дополнительное действие	Д13

Таблица 11.11. **Гипотетическая классификация причин ошибок**

Действующие факторы	Причины ошибок	Номер по классификатору
Внешние факторы	Инструкции	П1
	Информация	П2
	Организация	П3
	Эргономика	П4
	Условия работы	П5
	Постановка цели	П6
Внутренние факторы	Опыт	П7
	Умение	П8
	Знания	П9
	Мотивация	П10
Факторы стресса	Психологическое напряжение	П11
	Физиологическое напряжение	П12

Таблица 11.12. **Гипотетический классификатор ориентировочных значений вероятности ошибки оператора**

Номер по классификатору	Рутинная работа	Наличие инструкций	Наличие стресса	Новая ситуация	Ориентировочное значение вероятности ошибки оператора $P_{оп}$
В1	Да	Да	Нет	Нет	0,0001...0,001
В2	Да	В неполном объеме	Небольшой	Нет	0,001...0,005
В3	Да	В неполном объеме	Некоторый	Нет	0,005...0,01
В4	Нет	Нет	Некоторый	Нет	0,01...0,05
В5	Нет	Нет	Да	Нет	0,05...0,5
В6	Нет	Нет	Да	Да	0,5...1,0

Таблица 11.13. **Гипотетический классификатор ориентировочных значений вероятности исправления ошибки оператора**

Исправление ошибки (характеристика)	Ориентировочное значение вероятности исправления ошибки $P_{ис}$	Номер по классификатору
Весьма вероятное	0,5	И1
Вероятное	0,2	И2
Возможное	0,1	И3
Невероятное	0,01	И4
Весьма невероятное	0,001	И5
Невозможное	0	И6
С помощью системы защиты	0,95...1,0	И7
Невозможное из-за отсутствия времени	0	И8



Рис. 11.15. Характер изменения вероятности ошибки оператора в зависимости от:

а — стажа работы (*1* — начальный период; *2* — оптимальная работа; *3* — работа с большим стажем); *б* — величины стресса (*1* — малый; *2* — оптимальный; *3* — большой)

Выбрав величину U, измеряющую последствия ошибки (например, число летальных исходов, денежный эквивалент и т. д.), и установив подходящую шкалу для измерений (например, $U = 1...10$; $1...100$ и т. д.), можно для сравнительной оценки рассчитать значения рисков

$$R = P_{оп}(1 - P_{ис})U,$$

где $P_{оп}$ и $P_{ис}$ — вероятность ошибки оператора и вероятность ее исправления.

На рис. 11.16 и в табл. 11.14 даны возможные варианты представления результатов выполнения анализа ошибок персонала.

Причинно-следственный анализ (ПСА) выявляет причины происшедшего ЧП. Тем не менее ПСА является составной частью общего анализа опасностей. Он завершается прогнозом новых ЧП и составлением плана мероприятий по их предупреждению.

Анализ начинают со сбора информации, которая призвана описать ЧП точно и объективно. Составляют перечень событий, предшествовавших ЧП, при этом обращают внимание на то, что регистрируемые реальные события и факты бывают двух видов: носящие случайный характер и носящие постоянный характер. Последние участвуют в возникновении ЧП опосредованно и в сочетании со случайными событиями. Например, плохая конструкция ограждений на машине (факт, носящий постоянный характер) способствовала проникновению руки оператора в опасную зону (случайное событие). Перечень может содержать достаточно большое число событий, предшествовавших ЧП, и по нему трудно дать необходимые заключения. В этом случае це-

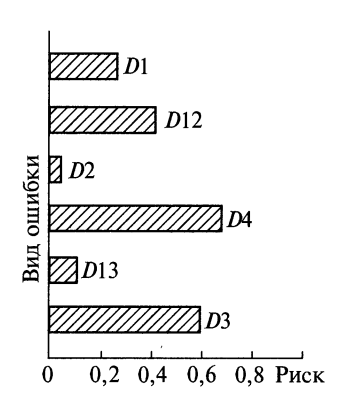


Рис. 11.16. Вариант представления результатов анализа ошибок оператора

Таблицав 11.14. **Вариант представления результатов анализа ошибок персонала**

Форма анализа	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Система и вид работы	Объект X1	Объект X2	Объект X3
	Процесс Y11	Процесс Y2	Процесс Y3
	Вид работы Z1	Вид работы Z2	Вид работы Z3
Цель работы	Задача по Z1	Задача по Z2	Задачи по Z3
Вид потенциальной ошибки	D12	D2	D3
Потенциальные последствия	A	N	K
Исправление ошибки	И2	И7	И4
Причины ошибки	П3	П5	П6
Метод предотвращения ошибки	П38 (пересмотр правил)	П54 (снижение шума)	П61 (изменение обекта)
Вероятность ошибки	0,02 (B4)	0,3 (B5)	0,1 (B5)
Вероятность исправления ошибки	0,2	0,99	0,01
Шкала последствий	1...100	1...10	1...10
Величина последствий U	40	4	8
Расчет риска: $R = P_{оп}(1 - P_{ис})U$	0,64	0,012	0,792
Метод снижения риска	Управление	Обучение персонала	Технические меры, обучение персонала
Другие данные	Нет	Нет	Нет

лесообразно построить ориентированный граф — дерево причин. Построение начинают с последней стадии развития событий, а именно с ЧП-несчастья. По каждому предшествующему событию последовательно ставят следующие вопросы. Каким предшествующим событием X было непосредственно вызвано событие Y? Достаточно ли было одного события X, чтобы вызвать Y? Если нет, то какие другие предшествующие события X_1, X_2, ..., X_n еще необходимы, чтобы непосредственно вызвать событие Y?

С помощью этих вопросов выявляют логические связи, представленные в табл. 11.15.

Логическая согласованность дерева причин контролируется путем постановки к каждому предшествующему событию следующих вопросов.

Если бы событие X не произошло, могло бы тем не менее произойти событие Y?

Было ли необходимым и достаточным само по себе событие X для того, чтобы произошло событие Y?

Процесс создания дерева причин побуждает исследователя к сбору и глубокому анализу информации. По окончании работы исследователь имеет группу факторов и диаграмму развития н-ЧП.

Логическая структура дерева причин такова, что при отсутствии хотя бы одного из предшествующих событий н-ЧП произойти не может. Это является хорошей основой для того, чтобы сформулировать предупредительные меры с целью: а) исключить повторение н-ЧП данного типа; б) избежать более или менее аналогичных н-ЧП (ЧП, которые имеют с данным ЧП общие признаки).

Анализируя дерево причин, можно также заметить, что не все предшествующие события имеют одинаковое значение для предотвращения н-ЧП. Поэтому имеет смысл составить еще один (сокращенный) перечень событий, по которому и принимать предупредительные меры.

Рассмотрим пример. Во дворе предприятия водитель тягача приступил к сцепке тягача с прицепом. Операция осложнилась из-за различной высоты тягача и прицепа, и водитель спустился вниз, чтобы выяснить причину затруднения, забыв поставить тягач на тормоз. Кроме того, это был не тот тягач, который обычно эксплуатировался с этим прицепом. Когда водитель находился между прицепом и тягачом, тягач с работающим двигателем скатился назад по небольшому уклону и придавил водителя к раме прицепа.

Дерево причин дано на рис. 11.17. Результаты анализа (возможный вариант) представлены в табл. 11.16 в виде причин происшедшего ЧП, предупредительных мероприятий и источников опасности, которые спрогнозированы на базе фактов, занесенных в графу причин. Прогнозирование осуществляют в двух дополняющих друг друга направлениях: а) ведут поиск источников опасности на данном месте; б) ведут поиск

Т а б л и ц а 11.15. **Использование логических связей в причинно-следственном анализе**

Действия	Последовательность	Разделение	Сочетание
Определение	ЧП Y имеет одну причину X	ЧП $Y_1, Y_2, \ldots, Y_n$ имеют одну причину X	ЧП Y имеет причины $X_1, X_2, \ldots, X_n$
Представление	$X \rightarrow Y$	$X \rightarrow Y_1 \ldots Y_n$	$X_1 \ldots X_n \rightarrow X$
Свойство	ЧП X — необходимое и достаточное условие появления ЧП Y	ЧП X является необходимым и достаточным условием для появления ЧП $Y_1, Y_2, \ldots, Y_n$	Только сочетание ЧП $X_1, X_2, \ldots, X_n$ является необходимым и достаточным условием для появления ЧП Y
Формула	$Y \leftrightarrow X$	$\hat{\prod\limits_{i}} Y_i \leftrightarrow X$	$Y \leftrightarrow \hat{\prod\limits_{i}} X_i$
Пример	$X \rightarrow Y$ X — появление в цепи тока большой силы; Y — перегорание плавкого предохранителя	$X \rightarrow Y_1, Y_2$ X — автомат вышел из строя; Y_1 — остановка техпроцесса; Y_2 — сигнал тревоги	$X_1, X_2 \rightarrow Y$ X_1 — образование взрывчатой смеси; X_2 — инициирование; Y — взрыв

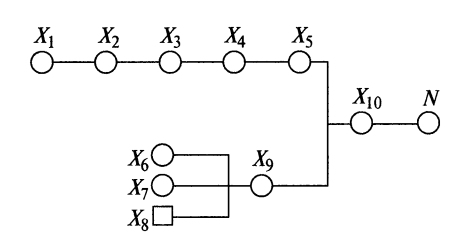


Рис. 11.17. Дерево причин аварии тягача:

X_1 — обычно используемый тягач вышел из строя; X_2 — другой тягач использовался в работе; X_3 — различие в высоте прицепа и нового тягача; X_4 — осуществление сцепки затруднено; X_5 — водитель встает между тягачом и прицепом; X_6 — не включен ручной тормоз; X_7 — вибрации от работающего двигателя; X_8 — двор имеет уклон; X_9 — тягач движется к прицепу; X_{10} — водитель зажимается между прицепом и тягачом; N — несчастный случай (травма); (X_8 — факт постоянного характера; остальные — случайного)

рабочих мест, где данный источник опасности может быть идентифицирован. Таким образом, причинно-следственный анализ происшедшего н-ЧП не только позволяет исключить выявленные причины, но и спрогнозировать опасности. Наконец, за исполнением предупредительных мероприятий необходимо проследить. Этому будет способствовать планирование, проведенное, например, по форме табл. 11.17, которая отвечает на вопросы: кто? когда? где? сколько? Эффективность всей работы будет также зависеть от информации, которую получит персонал предприятия. Информация должна вызывать положительное отношение персонала к принимаемым мерам.

Таблица 11.16. **Вариант представления результатов причинно-следственного анализа в примере с тягачом**

Причины несчастного случая	Возможные предупредительные мероприятия	Источники опасностей
Двор с уклоном	Реконструкция двора	Неподходящие места стоянок
Невыключенный тормоз, работающий двигатель	Инструктаж водителя	Недостаточная подготовка водителей
Разная высота прицепа и тягача	Стандартизация соединений	Техническая несовместимость материалов
Тягач, вышедший из строя	Предупредительный ремонт транспортных средств	Поломка оборудования

11.1.3. Количественный анализ опасностей

Функция опасности для системы ЧМС. При анализе опасностей сложные системы разбивают на множество подсистем. Подсистемой называют часть системы, которую выделяют по определенному признаку, отвечающему конкретным целям и задачам функционирования системы (например, подсистема управления безопасностью труда). В рамках этих задач подсистема может рассматриваться как самостоятельная система. Таким образом, иерархическая структура слож-

Таблица 11.17. **Форма для планирования предупредительных мероприятий**

Первая стадия: регистрация					
Рассматриваемые предупредительные мероприятия	Стадия внедрения мероприятий (что внедряется)	Объекты внедрения	Срок внедрения	Ответственный	Ожидаемая стоимость
....					

Вторая стадия: проверка		
Дата	Стадия внедрения мероприятий (что внедрено)	Результаты внедрения или причины, помешавшие внедрению
....		....

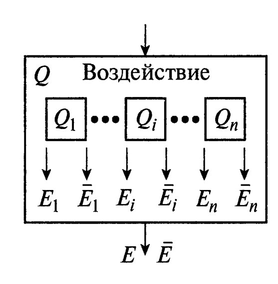


Рис. 11.18. Схема событий в системе ЧМС

ной системы такая, что позволяет ее разбивать на подсистемы различных уровней, причем подсистемы низших уровней входят составными частями в подсистемы высших уровней. Подсистемы, в свою очередь, состоят из компонентов — частей системы, которые рассматриваются без дальнейшего членения как единое целое.

Систему ЧМС, состоящую из компонентов Q_1, Q_2, ..., Q_n (рис. 11.18), будем обозначать в виде вектора системы $Q = (Q_1, Q_2, ..., Q_n)$. Отклонение компонента Q_i от нормального функционирования (отказ, авария) есть ЧП E_i. ЧП $E_i(i = \overline{1, n})$ ведут к ненормальному функционированию системы Q, составляющему суть ЧП E. Логический анализ внутренней структуры системы ЧМС и определение вероятности ЧП E как функции отдельных ЧП E_i являются одной из задач анализа опасностей. Чтобы определить эту функцию, введем индикаторы ЧП ξ и ξ_i, $i = \overline{1, n}$, которые могут принимать только два значения 1 и 0. Будем полагать, что если ЧП E_i, относящееся к компоненту Q_i, произошло, то $\xi_i = 1$, а если не произошло, то $\xi_i = 0$, т. е. произошло ЧП $\bar{E}_i$. Тогда для системы Q наступление ЧП E соответствует $\xi = 1$, а наступление ЧП E означает $\xi = 0$. Иначе говоря, имеем вектор индикаторов ЧП

$$\xi_* = (\xi_1, \xi_2, ..., \xi_n) \qquad (11.20)$$

и следующие соотношения:

$$\left.\begin{aligned} E_i &\to \xi_i = 1 \\ \bar{E}_i &\to \xi_i = 0 \\ E &\to \xi = 1 \\ \bar{E} &\to \xi = 0 \end{aligned}\right\} \qquad (11.21)$$

Если ЧП E_i наступает с вероятностью p_i, то, как следует из соотношений (11.21), с этой же вероятностью индикатор ЧП ξ_i принимает значение 1. Поэтому справедливы следующие зависимости:

$$\left.\begin{aligned} p_i &= P\{E_i\} = P\{\xi_i = 1\} \\ q_i &= P\{\bar{E}_i\} = P\{\xi_i = 0\} = 1 - p_i \\ p &= P\{E\} = P\{\xi = 1\} \\ q &= P\{\bar{E}\} = P\{\xi = 0\} = 1 - p. \end{aligned}\right\} \qquad (11.22)$$

Логический анализ функционирования системы ЧМС позволяет записать логическую и индикаторную функции системы:

$$E = F(E_1, E_2, ..., E_n), \quad (11.23)$$

$$\xi = F_\xi(\xi_1, \xi_2, ..., \xi_n). \quad (11.24)$$

Применяя правила теории вероятностей, находят вероятность ЧП в виде так называемой *функции опасности:*

$$p = F_p(p_1, p_2, ..., p_n). \quad (11.25)$$

Таким образом, состояние системы ЧМС описывается: вектором системы $Q = (Q_1, Q_2, ..., Q_n)$, вектором индикаторов ЧП $\xi_* = (\xi_1, \xi_2, ..., \xi_n)$, логической функцией системы $E = F(E_1, E_2, ..., E_n)$, индикаторной функцией системы $\xi = F_\xi(\xi_1, \xi_2, ..., \xi_n)$, функцией опасности $p = F_p(p_1, p_2, ..., p_n)$.

На практике часто индикатор и событие обозначают одной и той же буквой, так как это делалось в предыдущих параграфах.

Предположим, что анализ опасностей проводится для таких пространственно крупных систем, как цех или завод. Тогда в большинстве случаев выявленные источники опасностей могут рассматриваться как точечные. Их местоположение можно задать с помощью системы координат. Кроме того, можно допустить, что опасность достаточно полно характеризуется значениями вероятностей ЧП. Эти вероятности можно условно называть «зарядами» опасностей. Заряды опасностей можно связать с системой координат, как, например, показано на рис. 11.19, и считать, что они создают вокруг себя поле опасности, напряженность которого характеризуется вероятностью наступления н-ЧП. Это позволит не только установить границы опасной зоны, но и произвести ее разметку в зависимости от степени опасности.

Подсистемы и ЧП ИЛИ, И. *Подсистемой ИЛИ* называют часть системы ЧМС, компоненты которой соединены последовательно (рис. 11.20). Отказ подсистемы есть *ЧП ИЛИ.* К ЧП ИЛИ приводит отказ любого компонента подсистемы.

Будем обозначать отказы теми же буквами, что и компоненты. Если E_j — отказ j-го компонента (компонент E_j), то ЧП ИЛИ есть событие:

$$E = E_1 = E_2 + ... + E_n = \sum_{j=\overline{1,m}}^{\wedge} E_j , \quad (11.26)$$

где m — число компонентов.

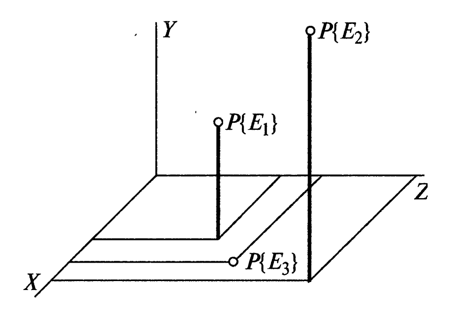


Рис. 11.19. Описание опасности с помощью «зарядов»:

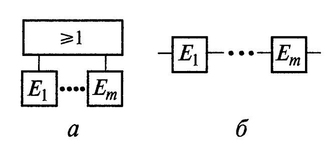


Рис. 11.20. Символическое изображение подсистемы ИЛИ:

а — графический символ; *б* — развернутая схема

В силу логических законов двойственности отсутствие ЧП ИЛИ есть событие

$$\overline{E} = \hat{\prod_{j=1,m}} \overline{E}_j \ . \qquad (11.27)$$

Если отказы компонентов можно рассматривать как взаимно независимые, то соотношения (11.7) и (11.18) позволяют найти вероятность ЧП ИЛИ:

$$P\left\{\hat{\sum_{j=1,m}} E_j\right\} = 1 - P\left\{\overline{\hat{\sum_{j=1,m}} E_j}\right\} = 1 - P\left\{\prod_{j=1,m} \overline{E}_j\right\} = 1 - \prod_{j=1}^{m}(1 - P\{E_j\}) \ . \qquad (11.28)$$

Для равновозможных отказов

$$P\{E_i\} = p, \ (j = 1, \ 2, \ ..., \ m) \qquad (11.29)$$

и вероятность ЧП ИЛИ

$$P\{E\} = 1 - (1 - p)^m. \qquad (11.30)$$

Последнее выражение свидетельствует о высокой вероятности ЧП в случае сложных систем. Например, при вероятности отказа компонента $p = 0{,}1$ подсистема ИЛИ, состоящая из десяти компонентов ($m = 10$), имеет вероятность того, что ЧП ИЛИ не произойдет, равную $(1 - 0{,}1)^{10} \approx 0{,}35$.

Используя разложения в ряд, можно получить полезные выражения, которые упрощают вычисления:

$$\left.\begin{aligned} P\{E\} &\approx 1 - \exp(-pm) \\ P\{\overline{E}\} &\approx \exp(-pm) \end{aligned}\right\} \qquad \text{при } p < 0{,}1,$$

$$\left.\begin{aligned} P\{E\} &\approx pm \\ P\{\overline{E}\} &\approx 1-pm \end{aligned}\right\} \qquad \text{при } pm < 0{,}1.$$

Подсистемой И называют ту часть системы ЧМС, компоненты которой соединены параллельно (рис. 11.21). Отказ этой подсистемы есть *ЧП И*. К ЧП И приводит отказ всех компонентов подсистемы:

$$E = E_1 E_2 \ldots E_m = \hat{\prod_{j=\overline{1,m}}} E_j \,. \tag{11.31}$$

Если отказы компонентов можно считать взаимно независимыми, то вероятность ЧП И

$$P\{E\} = \prod_{j=1}^{m} P\{E_j\} \,. \tag{11.32}$$

К понятию подсистемы И в машиностроении приводит операция резервирования, которую применяют, когда необходимо достичь высокой надежности системы (например, если имеется опасность аварии).

С точки зрения анализа опасностей, можно сделать следующие обобщения.

1. Любые действия персонала, операции, устройства, которые с точки зрения безопасности выполняют одни и те же функции в системе ЧМС, могут считаться соединенными параллельно.

2. Любые действия персонала, операции, устройства, каждое из которых необходимо для предотвращения ЧП (например, аварии или несчастного случая), должны рассматриваться как соединенные последовательно.

3. Для уменьшения опасности системы ЧМС обычно добавляют резервирование, учитывая при этом затраты.

Приведем примеры. Пусть защитное устройство пилы устраняет 95 %, а инструкция по технике безопасности 98 % несчастных случаев. В определенном смысле это — параллельные мероприятия (компоненты) по решению одной и той же проблемы. Следовательно, если они независимы, результирующая вероятность несчастного случая находится как для подсистемы И и будет равна 0,001.

Аналогично, если возгорание может произойти как от неосмотрительного курения, так и вследствие электростатического разряда, то предотвращение этих двух причин надо рассматривать как последовательные компоненты.

Подсистемой И — ИЛИ называют ту часть системы ЧМС, которая соединяет подсистемы ИЛИ в подсистему И. Отказ подсистемы И — ИЛИ есть *ЧП И — ИЛИ*. На рис. 11.22 параллельно соединенные компоненты E_i ($i = 1, 2, \ldots, m$), образующие подсистему И, представ-

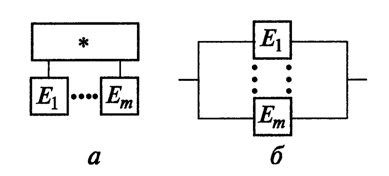


Рис. 11.21. Символическое изображение подсистемы И:

а — графический символ; *б* — развернутая схема

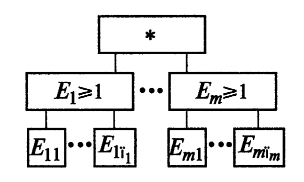


Рис. 11.22. Символическое представление подсистемы И — ИЛИ

ляют собой подсистемы ИЛИ, состоящие из последовательно соединенных компонентов E_{ij} ($j = 1, 2, ..., n_i$).

По формуле (11.28) вероятность отказа i-й подсистемы ИЛИ

$$P\{E_i\} = 1 - \prod_{j=1}^{n_i}(1 - P\{E_{ij}\}). \qquad (11.33)$$

Учитывая соотношение (11.32), находим вероятность *ЧП* И — ИЛИ:

$$P\{E\} = \prod_{i=1}^{m}\left[1 - \prod_{j=1}^{n_i}(1 - P\{E_{ij}\})\right]. \qquad (11.34)$$

Подсистемой ИЛИ — И в системе ЧМС называют подсистемы И, соединенные в подсистему ИЛИ. На рис. 11.23 последовательно соединенные компоненты E_i ($i = 1, 2, ..., m$), образующие подсистему ИЛИ, представляют собой подсистемы И из параллельно соединенных компонентов E_{ij} ($j = 1, 2, ..., n_i$).

С учетом формулы (11.32) вероятность отказа i-й подсистемы И

$$P\{E_i\} = \prod_{j=1}^{n_i} P\{E_{ij}\}. \qquad (11.35)$$

Используя соотношение (11.28), находим вероятность *ЧП* ИЛИ — И

$$P\{E\} = 1 - \prod_{i=1}^{m}\left[1 - \prod_{j=1}^{n_i} P\{E_{ij}\}\right]. \qquad (11.36)$$

В более сложных случаях, чтобы воспользоваться формулами (11.3) и (11.18) теории вероятностей, логическую функцию (11.23) необходимо определенным образом преобразовать — привести ее к нормальной, а затем к совершенной нормальной форме. Тогда она будет включать несовместимые события.

Численный анализ риска. Следует различать техногенный риск при наличии источника опасности и риск при наличии источника, оказывающего вредное воздействие на здоровье. Источник травмоопасности потенциально обладает повреждающими факторами, которые воздействуют на организм или окружающую среду в течение относительно короткого отрезка времени. Что касается источника, характеризующегося вредными факторами, то принято считать, что он воздействует на объект в течение достаточно длительного времени.

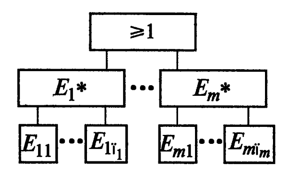


Рис. 11.23. Символическое представление подсистемы ИЛИ — И

Когда последствия неизвестны, то под риском обычно понимают просто вероятность наступления определенного сочетания нежелательных событий, определяемую по формуле (1.7).

При наличии n источников опасности для нахождения риска можно использовать принцип суперпозиции

$$R(r) = \sum_{i=1}^{n} R_i(r), \qquad (11.37)$$

где $R_i(r)$ — риск при i-м источнике опасности.

При определении индивидуального риска необходимо учитывать частоту появления персонала и время их пребывания в заданном месте. Однако на практике индивидуальный риск обычно рассчитывают для гипотетического индивидуума, постоянно находящегося в заданном месте. Таким образом, индивидуальный риск отражает характеристику опасности технической установки вне зависимости от поведения персонала. Как правило, индивидуальный риск уменьшается с увеличением расстояния от технической установки и в заданном месте может быть изображен в виде кривых изорисков. Например, на рис. 1.7 схематично показано поле рисков от трех установок. При суперпозиции полей делается допущение, состоящее в том, что исключается одновременное появление ЧП на всех установках из-за малой вероятности их возникновения.

Для выполнения условий травмобезопасности может потребоваться внесение изменений в следующие компоненты, управляющие риском: конструкторские решения; аварийные методики; учебные, тренировочные программы, программы по переподготовке; руководство по эксплуатации; нормативные документы; программы по безопасности.

Анализ риска, обусловленного наличием источника вредного действия, состоит из этапа оценки риска, сопровождаемого исследо-

ваниями, и этапа управления риском. На этапе оценки устанавливают, какие последствия вызывают разные дозы и в разных условиях в данном коллективе. На этапе управления риском анализируют разные альтернативы и выбирают наиболее подходящие управляющие воздействия.

Анализ риска различных систем ЧМС обычно заканчивают процедурой ранжирования. Упрощенно ранжирование рисков можно провести в зависимости от тяжести повреждения и частоты ЧП. В табл. 11.18 дан возможный вариант качественной оценки тяжести повреждений, а в табл. 11.19 показано, как можно классифицировать частоту потенциальных ЧП. Из этих таблиц следует, что если в результате анализа опасностей ЧП отнесено по тяжести потенциального повреждения к категории 1 (катастрофическое), а частота ЧП отмечена классом А (частое), то усилия должны быть сосредоточены на устранении опасности конструкторскими мерами. Если потенциальное ЧП имеет категорию 1 тяжести повреждения, то класс частоты ЧП должен быть Е, а при классе частоты А должна быть категория тяжести 4, тогда величина риска не будет большой. Эта точка зрения ведет к допущению того факта, что вероятность ЧП приемлемого риска обратно пропорциональна тяжести повреждения.

Таблица 11.18. **Категории тяжести повреждения**

Тяжесть повреждения	Категория	Описание потенциального ЧП
Катастрофическая	1-я	Несчастный случай с летальным исходом или повреждение системы, исключающее восстановление
Критическая	2-я	Несчастный случай с тяжелым исходом или значительный ущерб собственности или окружающей среды
Ощутимая	3-я	Несчастный случай или ущерб собственности или окружающей среды
Пренебрежимая	4-я	ЧП при небольшом повреждении организма или собственности или окружающей среды

Таблица 11.19. **Классы частоты потенциальных ЧП**

Характеристика ЧП по частоте	Класс	Описание потенциального ЧП
Частое	A	Может происходить часто
Вероятное	B	Может происходить несколько раз в течение жизненного цикла системы ЧМС
Возможное	C	Возможно будет иметь место
Допустимое	D	Невозможное, но полностью исключить из рассмотрения нельзя
Нулевое	E	Настолько невероятно, что может быть исключено из рассмотрения

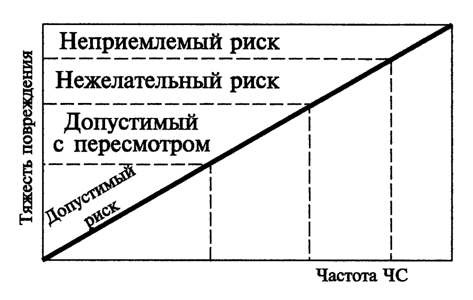


Рис. 11.24. Классификация риска в зависимости от тяжести повреждения и частоты ЧП

Используя частоту потенциальных ЧП и тяжесть повреждения, можно ранжировать риски так, как показано в табл. 11.20, которая иллюстрируется рис. 11.24.

Таблица 11.20. **Ранжирование рисков**

Характеристика и класс частоты ЧП		Категория и тяжесть повреждения			
		1-я — катастрофическое	2-я — критическое	3-я — ощутимое	4-я — пренебрежимое
Частое	A	1A	2A	3A	4A
Вероятное	B	1B	2B	3B	4B
Возможное	C	1C	2C	3C	4C
Допустимое	D	1D	2D	3D	4D
Нулевое	E	1E	2E	3E	4E

Классификация риска:		Ранжирование риска:
1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 3A	⇔	Неприемлем
1D, 2C, 2D, 3B, 3C		Нежелателен
1E, 2E, 3D, 3E, 4A, 4B		Допустим с пересмотром
4C, 4D, 4E		Допустим

Управление техническим риском (УТР) — процесс, в результате которого принимаются решения о согласии с известным риском или о необходимости устранения опасности и смягчения последствий. Методы УТР основаны на инженерных знаниях и могут в качестве своей цели ставить, например, задачу повышения надежности системы.

11.2. СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ТРАВМООПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

11.2.1. Защита от механического травмирования

К средствам защиты от механического травмирования относятся предохранительные, тормозные, оградительные устройства, средства автоматического контроля и сигнализации, знаки безопасности, системы дистанционного управления. Системы дистанционного управления и автоматические сигнализаторы на опасную концентрацию паров, газов, пылей применяют чаще всего во взрывоопасных производствах и производствах с выделением в воздух рабочей зоны токсичных веществ.

Предохранительные защитные средства предназначены для автоматического отключения агрегатов и машин при отклонении какого-либо параметра, характеризующего режим работы оборудования, за пределы допустимых значений. Таким образом, при аварийных режимах (увеличении давления, температуры, рабочих скоростей, силы тока, крутящих моментов и т. п.) исключается возможность взрывов, поломок, воспламенений. В соответствии с ГОСТ 12.4.125—83 предохранительные устройства по характеру действия бывают блокировочными и ограничительными.

Блокировочные устройства по принципу действия подразделяют на механические, электронные, электрические, электромагнитные, пневматические, гидравлические, оптические, магнитные и комбинированные.

Ограничительные устройства по конструктивному исполнению подразделяют на муфты, штифты, клапаны, шпонки, мембраны, пружины, сильфоны и шайбы.

Блокировочные устройства препятствуют проникновению человека в опасную зону либо во время пребывания его в этой зоне устраняют опасный фактор.

Особенно большое значение этим видам средств защиты придается на рабочих местах агрегатов и машин, не имеющих ограждений, а также там, где работа может вестись при снятом или открытом ограждении.

Механическая блокировка представляет собой систему, обеспечивающую связь между ограждением и тормозным (пусковым) устройством. При снятом ограждении агрегат невозможно растормозить, а следовательно, и пустить его в ход (рис. 11.25).

Электрическую блокировку применяют на электроустановках с напряжением от 500 В и выше, а также на различных видах технологи-

ческого оборудования с электроприводом. Она обеспечивает включение оборудования только при наличии ограждения. Электромагнитную (радиочастотную) блокировку применяют для предотвращения попадания человека в опасную зону. Если это происходит, высокочастотный генератор подает импульс тока к электромагнитному усилителю и поляризованному реле. Контакты электромагнитного реле обесточивают схему магнитного пускателя, что обеспечивает электромагнитное торможение привода за десятые доли секунды. Аналогично работает магнитная блокировка, использующая постоянное магнитное поле.

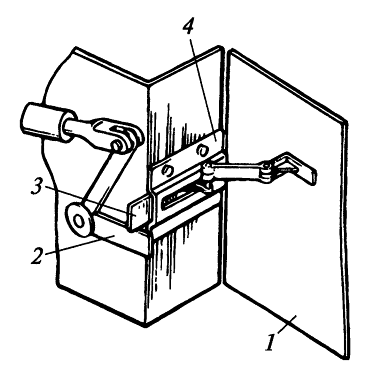


Рис. 11.25. Схема механической блокировки:

1 — ограждение; *2* — рычаг тормоза; *3* — запорная планка; *4* — направляющая

Оптическая блокировка находит применение в кузнечно-прессовых и механических цехах машиностроительных заводов. Световой луч, попадающий на фотоэлемент, обеспечивает постоянное протекание тока в обмотке блокировочного электромагнита. Если в момент нажатия педали в рабочей (опасной) зоне штампа окажется рука рабочего, падение светового тока на фотоэлемент прекращается, обмотки блокировочного магнита обесточиваются, его якорь под действием пружины выдвигается и включение пресса педалью становится невозможным.

Электронную (радиационную) блокировку применяют для защиты в опасных зонах на прессах, гильотинных ножницах и других видах технологического оборудования, применяемого в машиностроении (рис. 11.26).

Излучение, направленное от источника *5*, улавливается трубками Гейгера *1*. Они воздействуют на тиратронную лампу *2*, от которой приводится в действие контрольное реле *3*. Контакты реле либо включают, либо разрывают цепь управления, либо воздействуют на пусковое устройство. Контрольное реле *4* работает при нарушении

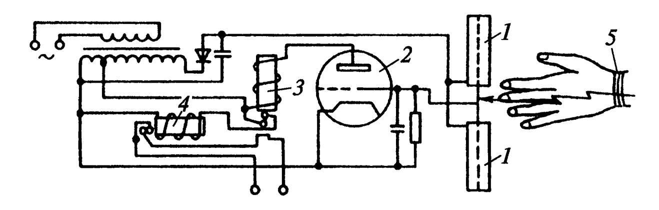


Рис. 11.26. Электронная (радиационная) блокировка

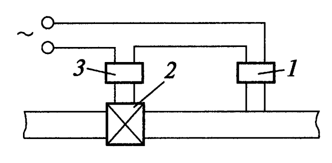


Рис. 11.27. Схема пневматической блокировки:

1 — реле давления; *2* — запорное устройство; *3* — электромагнит

системы блокировки, когда трубки Гейгера не работают в течение 20 с. Преимуществом блокировки с радиационными датчиками является то, что они позволяют производить бесконтактный контроль, так как не связаны с контролируемой средой. В ряде случаев при работе с агрессивными или взрывоопасными средами в оборудовании, находящемся под большим давлением или имеющем высокую температуру, блокировка с применением радиационных датчиков является единственным средством для обеспечения требуемых условий безопасности.

Пневматическая схема блокировки широко применяется в агрегатах, где рабочие тела находятся под повышенным давлением: турбинах, компрессорах, воздуходувках и т. д. Ее основным преимуществом является малая инерционность. На рис. 11.27 приведена принципиальная схема пневматической блокировки. Аналогично по принципу действия гидравлическая блокировка.

Примерами ограничительных устройств являются элементы механизмов и машин, рассчитанные на разрушение (или несрабатывание) при перегрузках. К слабым звеньям таких устройств относятся: срезные штифты и шпонки, соединяющие вал с маховиком, шестерней или шкивом; фрикционные муфты, не передающие движения при больших крутящих моментах; плавкие предохранители в электроустановках; разрывные мембраны в установках с повышенным давлением и т. п. Слабые звенья делятся на две основные группы: звенья с автоматическим восстановлением кинематической цепи после того, как контролируемый параметр пришел в норму (например, муфты трения), и звенья с восстановлением кинематической цепи путем замены слабого звена (например, штифты и шпонки). Срабатывание слабого звена приводит к останову машины на аварийных режимах.

Тормозные устройства подразделяют: по конструктивному исполнению — на колодочные, дисковые, конические и клиновые; по способу срабатывания — на ручные, автоматические и полуавтоматические; по принципу действия — на механические, электромагнитные, пневматические, гидравлические и комбинированные; по назначению — на рабочие, резервные, стояночные и экстренного торможения.

Оградительные устройства — класс средств защиты, препятствующих попаданию человека в опасную зону. Оградительные устрой-

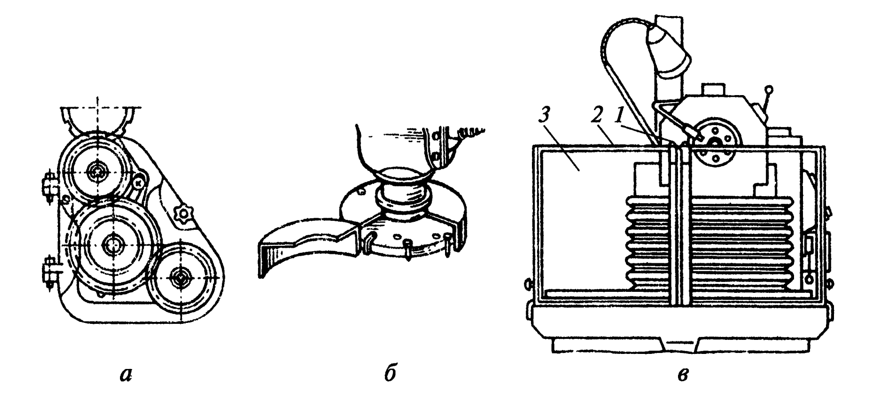


Рис. 11.28. Конструкции стационарных ограждений станков:

а — полное ограждение; *б* — частичное ограждение режущего инструмента; *в* — частичное ограждение зоны резания: *1* — поворотная ось экрана; *2* — рамка; *3* — прозрачный экран

ства применяют для изоляции систем привода машин и агрегатов, зоны обработки заготовок на станках, прессах, штампах, оголенных токоведущих частей, зон интенсивных излучений (тепловых, электромагнитных, ионизирующих), зон выделения вредных веществ, загрязняющих воздушную среду, и т. п. Ограждают также рабочие зоны, расположенные на высоте (леса и т. п.).

Конструктивные решения оградительных устройств весьма разнообразны. Они зависят от вида оборудования, расположения человека в рабочей зоне, специфики опасных и вредных факторов, сопровождающих технологический процесс. В соответствии с ГОСТ 12.4.125—83, классифицирующим средства защиты от механического травмирования, оградительные устройства подразделяют: по конструктивному исполнению — на кожухи, дверцы, щиты, козырьки, планки, барьеры и экраны; по способу изготовления — на сплошные, несплошные (перфорированные, сетчатые, решетчатые) и комбинированные; по способу установки — на стационарные и передвижные. Примерами полного стационарного ограждения служат ограждения распределительных устройств электрооборудования, кожуха галтовочных барабанов, корпуса электродвигателей, насосов и т. п.; частичного — ограждения фрез или рабочей зоны станка (рис. 11.28).

Возможно применение подвижного (съемного) ограждения. Оно представляет собой устройство, сблокированное с рабочими органами механизма или машины, вследствие чего закрывается доступ в рабочую зону при наступлении опасного момента. Особенно широкое распространение получили такие ограничительные устройства в станкостроении (например, в станках с ЧПУ ОФЗ—36).

Переносные ограждения являются временными. Их используют при ремонтных и наладочных работах для защиты от случайных прикосновений к токоведущим частям, а также от механических травм и ожогов. Кроме того, их применяют на постоянных рабочих местах сварщиков для защиты окружающих от воздействия электрической дуги и ультрафиолетовых излучений (сварочные посты). Выполняются они чаще всего в виде щитов высотой 1,7 м.

Конструкция и материал ограждающих устройств определяются особенностями оборудования и технологического процесса в целом. Ограждения выполняют в виде сварных и литых кожухов, решеток, сеток на жестком каркасе, а также в виде жестких сплошных щитов (щитков, экранов). Размеры ячеек в сетчатом и решетчатом ограждении определяются в соответствии с ГОСТ 12.2.062—81*. В качестве материала ограждений используют металлы, пластмассы, дерево. При необходимости наблюдения за рабочей зоной, кроме сеток и решеток, применяют сплошные оградительные устройства из прозрачных материалов (оргстекла, триплекса и т. д.).

Чтобы выдерживать нагрузки от отлетающих при обработке частиц и случайные воздействия обслуживающего персонала, ограждения должны быть достаточно прочными и хорошо крепиться к фундаменту или частям машины. При расчете на прочность ограждений машин и агрегатов для обработки металлов и дерева необходимо учитывать возможность вылета и удара об ограждение обрабатываемых заготовок.

Расчет ограждений ведется по специальным методикам.

11.2.2. Средства автоматического контроля и сигнализации

Наличие контрольно-измерительных приборов — одно из условий безопасной и надежной работы оборудования. Это приборы для измерения давления, температур, статических и динамических нагрузок, концентраций паров и газов и др. Эффективность их использования повышается при объединении их с системами сигнализации, как это имеет место в газосигнализаторах, срабатывающих при определенных уровнях концентрации паров, газов, пыли в воздухе.

Устройства автоматического контроля и сигнализации подразделяют: по назначению — на информационные, предупреждающие, аварийные и ответные; по способу срабатывания — на автоматические и полуавтоматические; по характеру сигнала — на звуковые, световые, цветовые, знаковые и комбинированные; по характеру подачи сигнала — на постоянные и пульсирующие.

Информативную сигнализацию используют для согласования действий работающих, в частности крановщиков и стропальщиков. Такую же сигнализацию применяют в шумных производствах, где нарушена речевая связь. Подвидом информативной сигнализации являются всякого рода схемы, указатели, надписи. Как правило, надписи делают непосредственно на оборудовании либо в зоне его обслуживания на специальных табло.

Устройства предупредительной сигнализации предназначены для предупреждения об опасности. Чаще всего в них используют световые и звуковые сигналы, поступающие от различных приборов, регистрирующих ход технологического процесса, в том числе уровень опасных и вредных факторов. Большое применение находит предупредительная сигнализация, опережающая включение оборудования или подачу высокого напряжения. К предупредительной сигнализации относятся указатели и плакаты: «Не включать — работают люди», «Не входить», «Не открывать — высокое напряжение» и др.

Указатели желательно выполнять в виде световых табло с переменной по времени (мигающей) подсветкой.

Подвидом предупредительной сигнализации является сигнальная окраска. Травмоопасные элементы оборудования выделяют чередующимися (под углом 45° к горизонтали) полосами желтого и черного цвета. На станках в красный цвет окрашивают обратные стороны дверец, ниш для электрооборудования, а также поверхности схода стружки.

Знаки безопасности установлены ГОСТ 12.4.026—01*. Они могут быть запрещающими, предупреждающими, предписывающими, указательными пожарной безопасности, эвакуационными, а также медицинского и санитарного назначения и отличаются друг от друга формой и цветом. В производственном оборудовании и в цехах применяют предупредительные знаки, представляющие собой желтый треугольник с черной полосой по периметру, внутри которого располагается какой-либо символ (черного цвета). Например, при электрической опасности — это молния, при опасности травмирования перемещаемым грузом — груз, при опасности скольжения — падающий человек, при прочих опасностях — восклицательный знак.

Запрещающий знак — круг красного цвета с белой каймой по периметру и черным изображением внутри. Предписывающие знаки представляют собой синий круг с белой каймой по периметру и белым изображением в центре, указательные — синий прямоугольник или квадрат также с белой каймой и белым изображением.

Знаки пожарной безопасности представляют теперь красные квадраты или прямоугольники с белой каймой и белым изображением.

Эвакуационные и знаки медицинского и санитарного назначения представляют собой зеленые квадраты или прямоугольники с белой каймой и белым изображением.

11.2.3. Защита от опасностей автоматизированного и роботизированного производства

Она обеспечивается прежде всего технологией проведения работ. Для периодической смены инструмента, регулировки и подналадки станков с ЧПУ и автоматов, их смазывания и чистки, а также для мелкого ремонта в цикле работы автоматической линии должно быть предусмотрено специальное время. Все перечисленные работы должны выполняться на обесточенном оборудовании. Требования безопасности к промышленным работам и робототехническим комплексам установлены ГОСТ 12.2.072—82.

Контроль за обеспечением оборудования средствами защиты от механического травмирования и за их исправностью возложен на службу главного механика предприятий и на механиков подразделений (либо лиц, выполняющих их функции).

11.2.4. Средства электробезопасности

Согласно Правил устройства электроустановок (ПУЭ), для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты от прямого прикосновения (прикосновения к токоведущим частям): изоляция токоведущих частей; исключение доступа к ним с помощью ограждений и оболочек либо за счет установки барьеров; размещение токоведущих частей вне зоны досягаемости; применение сверхнизкого (малого) напряжения (в системах освещения, в ручном электрофицированном инструменте и в некоторых других случаях).

Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в электроустановках напряжением до 1 кВ, при наличии требований ПУЭ следует применить устройства защитного отключения (УЗО) с номинальным отключающим током не более 30 мА.

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты (случай косвенного прикосновения): защитное заземление; автоматическое отключение питания; уравнение потенциалов (электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов); выравнивание потенциалов

(снижение шагового напряжения при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности); двойная или усиленная изоляция; сверхнизкое (малое) напряжение; защитное электрическое разделение цепей (отделение одной цепи от другой с помощью изоляции или защитных экранов); изолирующие (непроводящие ток) помещения, зоны площадки.

Согласно Правил безопасности, при эксплуатации электроустановок необходимо использование также *знаков безопасности* и предупредительных плакатов и надписей.

Требования к устройству *защитного заземления* и *зануления* электрооборудования определены ПУЭ, в соответствии с которыми они должны устраиваться при номинальном напряжении выше 50 В переменного и выше 120 В постоянного тока — во всех электроустановках. В условиях работ в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных они должны выполняться, как правило, в установках с напряжением питания > 25 В переменного тока и > 60 В постоянного тока. Последнее требование относится и к наружным электроустановкам*.

Помещения без повышенной опасности — это сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха и с изолирующими (например, деревянными) полами, т. е. в которых отсутствуют условия, свойственные помещениям с повышенной опасностью и особо опасным.

Помещения с повышенной опасностью характеризуются наличием одного из следующих пяти условий, создающих повышенную опасность:

— сырости, когда относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %; такие помещения называют сырыми;

— высокой температуры, когда температура воздуха длительно (свыше суток) превышает + 35°С; такие помещения называются жаркими;

— токопроводящей пыли, когда по условиям производства в помещениях выделяется токопроводящая технологическая пыль (например, угольная, металлическая и т. п.) в таком количестве, что она оседает на проводах, проникает внутрь машин, аппаратов и т. п.; такие помещения называются пыльными с токопроводящей пылью;

— токопроводящих полов — металлических, земляных, железобетонных, кирпичных и т. п.;

---

* В отдельных особо опасных случаях ПУЭ предусматривает устройство заземления при 12 В переменного и 30 В постоянного тока.

— возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т. п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования — с другой.

Помещения особо опасные характеризуются наличием одного из следующих трех условий, создающих особую опасность:

— особой сырости, когда относительная влажность воздуха близка к 100 % (стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой); такие помещения называются особо сырыми;

— химически активной, или органической, среды, т. е. помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образующие отложения или плесень, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования; такие помещения называются помещениями с химически активной, или органической, средой;

— одновременного наличия двух и более условий, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

Особо опасными помещениями является бóльшая часть производственных помещений, в том числе все цехи машиностроительных заводов, испытательные станции, гальванические цехи, мастерские и т. п. К таким же помещениям относятся и участки работ на земле под открытым небом или под навесом.

Во взрывоопасных зонах электроустановки заземляются при любых напряжениях питания независимо от рода тока.

Защитному заземлению или занулению подлежат металлические части электроустановок, доступные для прикосновения человека, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

Защитное заземление представляет собой преднамеренное электрическое соединение металлических частей электроустановок с землей или ее эквивалентом (водопроводными трубами и т. п.). Схема защитного заземления представлена на рис. 11.29.

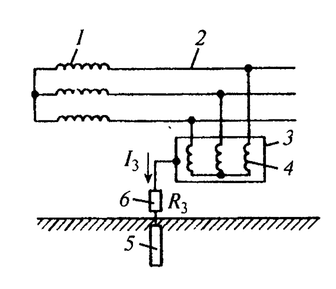
При пробое изоляции токоведущих частей на корпус, изолированный от земли, он оказывается под фазовым напряжением $U_ф$. В этом случае ток, проходящий через человека,

$$I_ч = U_ф/(R_ч + R_ф),$$

где $R_ч$ — электрическое сопротивление тела человека; $R_ф$ — электрическое сопротивление изоляции фаз.

При наличии заземления вследствие стекания тока на землю напряжение прикосновения уменьшается и, следовательно, ток, проходящий через человека, оказывается меньше, чем в незаземленной ус-

Рис. 11.29. Схема защитного заземления в сети с изолированной нейтралью:
1 — токоприемник; *2* — заземлитель



тановке. Чтобы напряжение на заземленном корпусе оборудования было минимальным, ограничивают сопротивление заземления. В установках в сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1 кВ оно, как правило, должно быть не более 4 Ом. Если мощность источника питания не превышает 100 кВА, сопротивление заземления может быть в пределах 10 Ом.*

В качестве заземляющих устройств электроустановок в первую очередь должны быть использованы естественные заземлители. Возможно применение железобетонных фундаментов промышленных зданий и сооружений. При отсутствии естественных заземлителей допускается применение переносных заземлителей, например ввинчиваемых в землю стальных труб, стержней, уголков. После заглубления в землю они должны иметь концы длиной 100...200 мм над поверхностью земли, к которым привариваются соединительные проводники. Категорически запрещается использовать в качестве заземлителей трубопроводы с горючими жидкостями и газами.

Зануление состоит в преднамеренном соединении металлических нетоковедущих частей оборудования, которые могут оказаться под напряжением вследствие пробоя изоляции, с нулевым защитным проводником (рис. 11.30). При замыкании любой фазы на корпус образуется контур короткого замыкания, характеризуемый силой тока весьма большой величины, достаточной для «выбивания» предохранителей в фазных питающих проводах. Таким образом электроустановка обесточивается. Предусматривается повторное заземление нулевого проводника на случай обрыва нулевого провода на участке, близком к нейтрали. По этому заземлению ток стекает на землю, от-

---

* В сетях с глухозаземленной нейтралью, где защитное заземление менее эффективно ПУЭ, дополнительно задают величину сопротивления заземления нейтрали трансформатора или вывода источника однофазного тока отдельно для источников трехфазного и однофазного тока с учетом величины линейных сопротивлений. В первом случае это 660; 380 и 220 В, во втором — 380; 220 и 127 В. Соответственно указанное сопротивление должно составлять 2, 4 или 8 Ом.

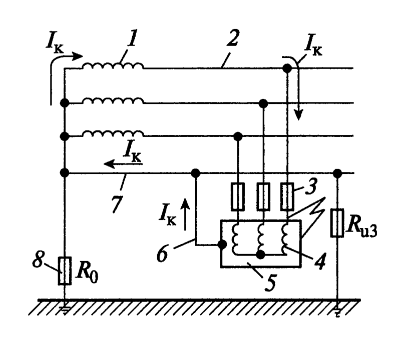


Рис. 11.30. Схема зануления в трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью:

1 — трансформатор; *2* — сеть; *3* — предохранитель; *4* — обмотка электродвигателя; *5* — корпус электродвигателя; *6* — зануляющий проводник; *7* — нулевой защитный проводник; *8* — сопротивление заземления нейтрали

куда попадает в заземление нейтрали, по нему во все фазные провода, включая имеющий пробитую изоляцию, далее на корпус. Таким образом образуется контур короткого замыкания.

Защитное отключение электроустановок обеспечивается путем введения устройства, автоматически отключающего оборудование — потребитель тока при возникновении опасности поражения током. Схемы отключающих автоматических устройств весьма разнообразны. Во всех случаях система срабатывает на превышение какого-либо параметра в электрических цепях технологического оборудования (силы тока, напряжения, сопротивления изоляции). На рис. 11.31 представлена схема защитного отключения с использованием реле максимального тока.

Повышение электробезопасности достигается также путем применения изолирующих, ограждающих, предохранительных и сигнализирующих средств защиты.

Изолирующие электрозащитные средства делятся на основные и дополнительные. Основные изолирующие электрозащитные средства способны длительное время выдерживать рабочее напряжение электроустановки, и поэтому ими разрешается касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением, и работать на этих частях. К таким средствам относятся: в электроустановках напряжением до 1000 В — диэлектрические резиновые перчатки, инструмент с изолирующими рукоятками и указатели напряжения до 1000 В (ранее назывались токоискателями); в электроустановках напряжением выше 1000 В — изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, а также указатели напряжения выше 1000 В.

Дополнительные изолирующие электрозащитные средства обладают недостаточной электрической прочностью и поэтому не могут самостоятельно защищать человека от поражения током. Их назначение — усилить защитное действие основных изолирующих средств, вместе с которыми они должны применяться. К дополнительным изолирующим средствам относятся: в электроустановках напряже-

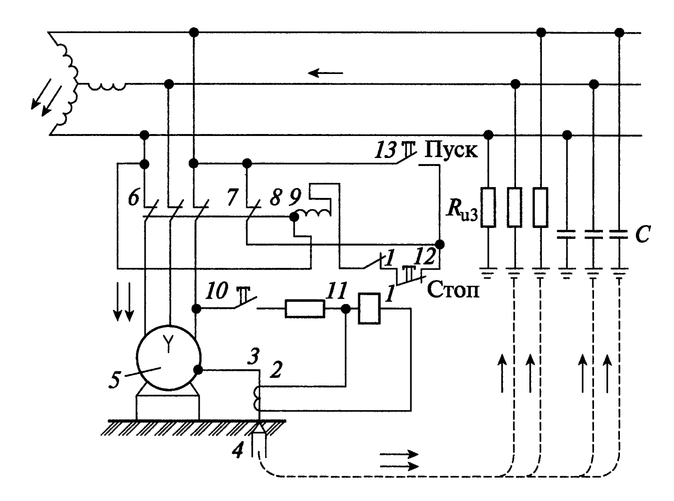


Рис. 11.31. Принципиальная схема устройства защитного отключения:

1 — реле максимального тока; *2* — трансформатор тока; *3* — проводник; *4* — заземлитель; *5* — электродвигатель; *6* — пускатель; *7* — блок-контакты; *8* — сердечник; *9* — катушка пускателя; *10, 12, 13* — кнопки, *11* — вспомогательное сопротивление

нием до 1000 В — диэлектрические галоши, коврики и изолирующие подставки; в электроустановках напряжением выше 1000 В — диэлектрические перчатки, боты, коврики, изолирующие подставки.

Ограждающие средства защиты предназначены для временного ограждения токоведущих частей (временные переносные ограждения, щиты, ограждения-клетки, изолирующие накладки, изолирующие колпаки).

Сигнализирующие средства включают запрещающие и предупреждающие знаки безопасности, а также плакаты: запрещающие, предостерегающие, разрешающие, напоминающие. Чаще всего используется предупреждающий знак «Проход запрещен».

Предохранительные средства защиты предназначены для индивидуальной защиты работающего от световых, тепловых и механических воздействий. К ним относят: защитные очки, противогазы, специальные рукавицы и т. п.

11.3. ЗАЩИТА ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

11.3.1. Обобщенное защитное устройство и методы защиты

При решении задач защиты выделяют источник, приемник энергии и защитное устройство, которое уменьшает до допустимых уровней поток энергии к приемнику [2].

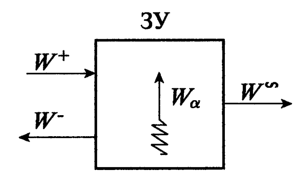


Рис. 11.32. Энергетический баланс защитного устройства

В общем случае защитное устройство (ЗУ) обладает способностями: отражать, поглощать, быть прозрачным по отношению к потоку энергии. Пусть из общего потока энергии W^+, поступающего к ЗУ (рис. 11.32), часть W_α поглощается, часть W^- отражается и часть $W^\sim$ проходит сквозь ЗУ. Тогда ЗУ можно охарактеризовать следующими энергетическими коэффициентами: *коэффициентом поглощения* $\alpha = W_\alpha/W^+$, *коэффициентом отражения* $\rho = W^-/W^+$, *коэффициентом передачи* $\tau = W^\sim/W^+$. Очевидно, что выполняется равенство $\rho + \alpha + \tau = 1$. Сумма $\alpha + \tau = 1 - \rho = \nu$ (где $\nu = W_\nu/W^+$) характеризует неотраженный поток энергии W_ν, прошедший в ЗУ. Если $\alpha = 1$, то ЗУ поглощает всю энергию, поступающую от источника, при $\rho = 1$ ЗУ обладает 100 %-й отражающей способностью, а равенство $\tau = 1$ означает абсолютную прозрачность ЗУ: энергия проходит через устройство без потерь.

В соответствии с изложенным можно выделить следующие принципы защиты:

1) принцип, при котором $\rho \to 1$; защита осуществляется за счет отражательной способности ЗУ;

2) принцип, при котором $\alpha \to 1$; защита осуществляется за счет поглощательной способности ЗУ;

3) принцип, при котором $\tau \to 1$; защита осуществляется с учетом свойств прозрачности ЗУ.

На практике принципы обычно комбинируют, получая различные методы защиты. Наибольшее распространение получили методы защиты изоляцией и поглощением.

Методы изоляции используют тогда, когда источник и приемник энергии, являющийся одновременно объектом защиты, располагаются с разных сторон от ЗУ. В основе этих методов лежит уменьшение прозрачности среды между источником и приемником, т. е. выполнение условия $\tau \to 0$. При этом можно выделить два основных метода изоляции: метод, при котором уменьшение прозрачности среды достигается за счет поглощения энергии ЗУ, т. е. условие $\tau \to 0$ обеспечивается условием $\alpha \to 1$ (рис. 11.33, *а*), и метод, при котором уменьшение прозрачности среды достигается за счет высокой отражательной способности ЗУ, т. е. условие $\tau \to 0$ обеспечивается условием $\rho \to 1$ (см. рис. 11.33, *б*).

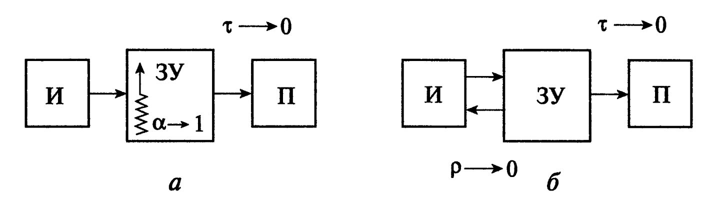


Рис. 11.33. Методы изоляции при расположении источника и приемника с разных сторон от ЗУ:

а — энергия поглощается; *б* — энергия отражается

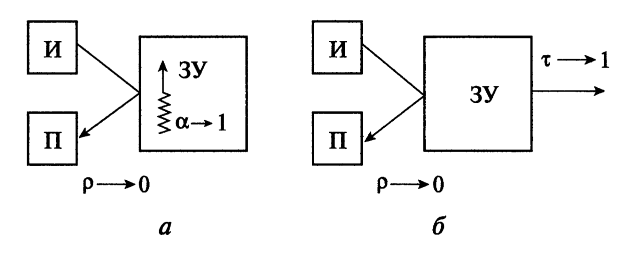


Рис. 11.34. Методы поглощения при расположении источника и приемника с одной стороны от ЗУ:

а — энергия отбирается; *б* — энергия пропускается

В основе *методов поглощения* лежит принцип увеличения потока энергии, прошедшего в ЗУ, т. е. достижение условия $\nu \to 1$. Принципиально можно различать как бы два вида поглощения энергии ЗУ: поглощение энергии самим ЗУ за счет ее отбора от источника в той или иной форме, в том числе в виде необратимых потерь (характеризуется коэффициентом α, рис. 11.34, *а*), и поглощение энергии в связи с большой прозрачностью ЗУ (характеризуется коэффициентом τ, см. рис. 11.34, *б*). Так как при $\nu \to 1$ коэффициент $\rho \to 0$, то методы поглощения используют для уменьшения отраженного потока энергии; при этом источник и приемник энергии обычно находятся с одной стороны от ЗУ.

При рассмотрении колебаний наряду с коэффициентом α часто используют *коэффициент потерь* η, который характеризует количество энергии, рассеянной ЗУ:

$$\eta = W_s/\omega\varepsilon = \varepsilon_s/2\pi\varepsilon, \qquad (11.38)$$

где W_s и ε_s — средние за период колебаний T соответственно мощность потерь и рассеянная за то же время энергия; ω — круговая частота, $\omega = 2\pi/T$; ε — энергия, запасенная системой.

В большинстве случаев качественная оценка степени реализации целей защиты может осуществляться двумя способами:

1) определяют *коэффициент защиты* k_w в виде отношения:

$$k_W = \frac{\text{поток энергии в данной точке при отсутствии ЗУ}}{\text{поток энергии в данной точке при наличии ЗУ}};$$

2) определяют коэффициент защиты в виде отношения:

$$k_W = \frac{\text{поток энергии на входе в ЗУ}}{\text{поток энергии на выходе из ЗУ}}.$$

Эффективность защиты (дБ)

$$e = 10\lg k_w. \quad (11.39)$$

11.3.2. Защита от вибрации

Линейные вибросистемы состоят из элементов массы, упругости и демпфирования. В общем случае в системе действуют силы инерции, трения, упругости и вынуждающие.

Сила энерции, как известно, равна произведению массы M на ее ускорение

$$F_M = M\frac{\mathrm{dv}}{\mathrm{d}t}, \quad (11.40)$$

где v — виброскорость.

Сила F_M направлена в сторону, противоположную ускорению.

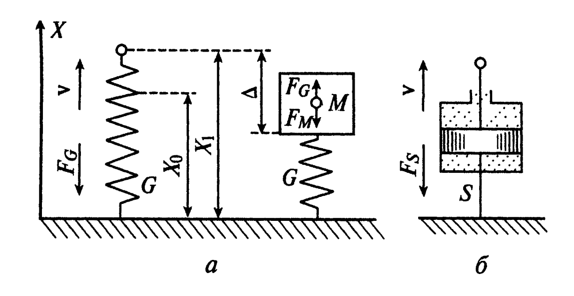
Упругий элемент принято изображать в виде пружины, не имеющей массы (рис. 11.35, *а*). Чтобы переместить конец пружины из точки с координатой x_0 (ненапряженное соотношение) в точку с координатой x_1, к пружине необходимо приложить силу; при этом сила действия упругого элемента, или восстанавливающая сила, будет направлена в противоположную сторону и равна

$$F_G = Gx, \quad (11.41)$$

где G — коэффициент жесткости, Н/м; $x = x_1 - x_0$ — смещение конца пружины, м.

При вибрации упругих систем происходит рассеяние энергии в окружающую среду, а также в материале упругих элементов и в узлах сочленения деталей конструкции. Эти потери вызываются силами трения — диссипативными силами, на преодоление которых непрерывно и необратимо расходуется энергия источника вибрации.

Рис. 11.35. Схематическое изображение элементов упругости (*а*) и демпфирования (*б*)



Если рассеяние энергии происходит в *элементе демпфирования* (см. рис. 11.35, *б*), т. е. в вязкой среде (среде с вязким сопротивлением), то диссипативная сила F_s пропорциональна виброскорости и носит название демпфирующей:

$$F_s = Sv. \tag{11.42}$$

Сила F_s всегда направлена против скорости, коэффициент S (Н с/м) называют импедансом, или сопротивлением элемента демпфирования.

Основные характеристики виброзащитных систем. К основным характеристикам виброзащитных систем отнесены собственная частота системы, механический импеданс и коэффициенты, определяющие процессы затухания вибраций и рассеяния энергии*.

По аналогии с формулой (11.42) можно ввести общее понятие механического импеданса материальной точки при гармонической вибрации

$$z = F/\mathrm{v} \ \text{ или } \ |\dot{z}| = |\tilde{F} / \tilde{\mathrm{v}}|,$$

где комплексное число $\dot{z}$ в полярной форме можно записать в виде $\dot{z} = ze^{j\varphi}z$.

Найдем импеданс элементов массы и упругости. При заданной виброскорости $\tilde{\mathrm{v}}$ смещение $\tilde{x}$ и ускорение $\tilde{a}$ материальной точки находят интегрированием и дифференцированием:

$$\tilde{\mathrm{v}} = \dot{\mathrm{v}}_m e^{j\omega t}; \ \tilde{x} = \tilde{\mathrm{v}} / (j\omega); \ \tilde{a} = j\omega\tilde{\mathrm{v}}. \tag{11.43}$$

---

* Ниже рассматриваются только гармонические движения. Их удобно изучать с помощью вращающихся комплексных векторов. Вращающийся вектор будем обозначать волнистой линией над буквой, постоянный вектор — точкой: $\tilde{u} = \dot{u}_m e^{i\omega t} = u_m e^{j(\omega t + \varphi_u)}$; $\dot{u}_m = e^{j\varphi_u}$. Здесь постоянный вектор $\dot{u}_m$ называется комплексной амплитудой, объединяющей действительное значение амплитуды u_m и начальный фазовый угол φ_u; $\omega = 2\pi f$, где f — частота, Гц; t — время; $j = \sqrt{-1}$.

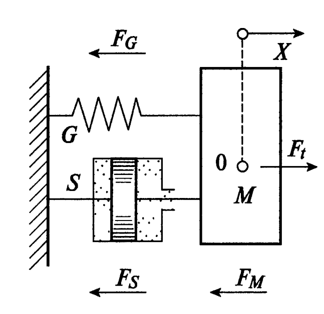


Рис. 11.36. Схема вибросистемы с одной степенью свободы

Подставив ускорение a в формулу (11.40), определяют *импеданс элемента массы,* или просто импеданс массы z_M:

$$\tilde{F}_M = M\frac{d\tilde{v}}{dt} = j\omega M\tilde{v} = \dot{z}_M\tilde{v}\,. \qquad (11.44)$$

Таким образом, импеданс массы $\dot{z}_M = j\omega M$ является мнимой положительной величиной, пропорциональной частоте. Он достигает больших значений в диапазоне высоких частот. В диапазоне низких частот им можно пренебречь.

Подставив смещение x в формулу (11.41), находят *импеданс элемента упругости* $\dot{z}_G$:

$$\tilde{F}_G = G\tilde{x} = \frac{G}{j\omega}\tilde{v} = \dot{z}_G\tilde{v}\,. \qquad (11.45)$$

Таким образом, импеданс элемента упругости $z_G = -j\dfrac{G}{\omega}$ является чисто мнимой отрицательной величиной, обратно пропорциональной частоте; в области высоких частот им можно пренебречь.

Импеданс элемента демпфирования является действительной величиной

$$\dot{z}_S = S;\ \tilde{F}_S = \dot{z}_S\tilde{v}.$$

В общем случае вибросистему с одной степенью свободы можно изобразить в виде элемента массы, не обладающего деформацией, и элементов упругости и демфирования, не имеющих массы (рис. 11.36). Точка O обозначает положение статического равновесия, от которого отсчитывается смещение x тела массой M под действием гармонической вынуждающей силы F_t. К телу также приложены сила инерции F_M, восстанавливающая сила F_G и диссипативная демпфирующая сила F_S. В соответствии с принципом Д'Аламбера

$$\tilde{F}_M + \tilde{F}_G + \tilde{F}_S = \tilde{F}_t. \qquad (11.46)$$

Свободная вибрация ($F_t = 0$) в отсутствие сил трения ($F_S = 0$) с течением времени не затухает. Виброскорость в этом случае определяется выражением (11.43), в котором амплитуда v_m = const. Условие $F_M + F_G = 0$ с учетом выражений (11.44) и (11.45) позволяет определить *собственную частоту вибросистемы:*

$$\omega_0 = \sqrt{G/M}\,.$$

Собственную частоту системы с одной степенью свободы (см. рис. 11.35, *а*) на практике определяют по прогибу Δ, исходя из равенства сил $F_G = F_M$ в статике:

$$\omega_0 = \sqrt{G/M} = \sqrt{g/\Delta}\,,$$

где g — ускорение свободного падения.

При наличии сил трения ($F_S \neq 0$) свободная вибрация ($F_t = 0$) затухает. Амплитуда виброскорости с течением времени убывает. Чтобы учесть это, вводят комплексную угловую частоту $\dot{\omega}_* = \omega_{0*} + j\delta$, где δ — *коэффициент демпфирования.* Поставив в выражение (11.43) частоту $\dot{\omega}_*$ вместо ω, получим

$$\tilde{v} = v_m e^{-\delta t} e^{j(\omega_{0*}t + \varphi_v)} = v_m(\delta)e^{j(\omega_{0*}t + \varphi_v)}, \qquad (11.47)$$

где $v_m(\delta) = v_m e^{-\delta t}$ — амплитуда виброскорости с учетом затухания.

Из уравнения $\tilde{F}_M + \tilde{F}_G + \tilde{F}_S = (j\dot{\omega}_* M - jG/\dot{\omega}_* + S)\tilde{v} = 0$ находят неизвестные величины δ и ω_{0*}.

$$\delta = S/2M,$$

$$\omega_{0*} = \sqrt{\frac{G}{M}\left[1 - \left(\frac{S}{S_{\text{кр}}}\right)^2\right]},$$

где $S_{\text{кр}} = 2\sqrt{GM}$ — *критический импеданс элемента демпфирования.*

Таким образом, коэффициент демпфирования равен половине импеданса элемента демпфирования, приходящегося на единицу массы, и свободная вибрация с затуханием осуществляется с частотой ω_{0*}, зависящей от отношения импедансов $S/S_{\text{кр}}$, которое характеризует силы трения в системе. При отсутствии диссипативных сил ($S/S_{\text{кр}} = 0$) частота $\omega_{0*} = \omega_0$; если же диссипативные силы имеют критическое значение, т. е. если $S/S_{\text{кр}} = 1$, то частота $\omega_{0*} = 0$.

Вынужденная вибрация ($F_1 \neq 0$) происходит с частотой ω вынуждающей силы. Из уравнения (11.46) определяют *механический импеданс вибросистемы:*

$$\dot{z} = S + j\omega M - jG/\omega. \tag{11.48}$$

Таким образом, импеданс вибросистемы складывается из импедансов элемента демпфирования, массы и упругости. Он имеет активную и реактивную составляющие. Его модуль и фазовый угол равны:

$$z = |\dot{z}| = \sqrt{S^2 + (\omega M - G/\omega)^2}, \tag{11.49}$$

$$\varphi_z = \operatorname{arctg}[(\omega M - G/\omega)/S].$$

Как следует из соотношения (11.49), импеданс вибросистемы имеет минимальное значение на частоте $\omega = \omega_0$, при которой слагаемое в круглых скобках обращается в нуль, т. е. в резонансной области импеданс вибросистемы определяется импедансом элемента демпфирования ($z = S$). Вне резонансной области импедансом S можно пренебречь. Тогда из выражения (11.48) следует, что в диапазоне высоких частот движение определяется вибрирующей массой ($\dot{z} \approx j\omega M$), а в диапазоне низких частот — жесткостью системы ($\dot{z} \approx -jG/\omega$).

Защитное устройство — упругодемпфирующий элемент. В большинстве случаев расчет сложных защитных устройств сводится к расчету простого защитного устройства, состоящего из элемента упругости и элемента демпфирования, соединенных параллельно. Реакция

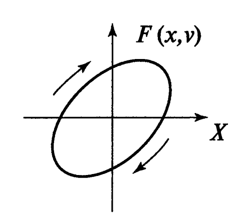


Рис. 11.37. Рассеяние энергии — гистерезисная петля

защитного устройства складывается из реакций упругого и демпфирующих элементов $\widetilde{F}_R = \widetilde{F}_G + \widetilde{F}_S$. *Импеданс защитного устройства*

$$\dot{z}_R = \dot{z}_S + \dot{z}_G = (S - jG/\omega). \qquad (11.50)$$

Если провести циклическое деформирование упругодиссипативного элемента по закону $x = x_m \cos\omega t$, то обнаруживается различие линий нагрузки и разгрузки (рис. 11.37) на диаграмме сила — смещение: точка, изображающая напряженное и деформированное состояние, описывает замкнутую кривую — петлю гистерезиса. Площадь, ограниченная петлей гистерезиса, выражает энергию ε_S, рассеянную за один цикл демпфирования и равную работе диссипативных сил:

$$\varepsilon_S = \oint F_R(x, \text{ v})\text{d}x = \int_0^T F_S(\text{v})\text{vd}t = \pi x_m^2 \omega S.$$

В начале и конце цикла деформирования смещения максимальны, виброскорость равна нулю и вся энергия, запасенная системой, равна потенциальной:

$$\varepsilon_G = \int F_G(x)\text{d}x = Gx^2/2 = \varepsilon\cos^2\omega t; \;\; \varepsilon = Gx_m^2/2.$$

По формуле (11.38) находят коэффициент потерь и преобразуют его с учетом выражения для критического импеданса:

$$\eta = \frac{\omega S}{G} = \frac{1}{2}\frac{S}{S_{\text{кр}}}\frac{\omega}{\omega_0}.$$

Тогда выражение (11.50) можно записать в виде

$$\dot{z}_R = \frac{G}{\omega}(\eta - j). \qquad (11.51)$$

Виброизоляция. Между источником вибрации и ее приемником, являющимся одновременно объектом защиты, устанавливают упругодемпфирующее устройство — *виброизолятор* — с малым коэффициентом передачи (рис. 11.38, *а*). Схематично система «источник вибраций — защитное устройство — приемник» показана на рис. 11.38, *б*. При возбуждении системы защитное устройство, расположенное между источником и приемником, воздействует на них с реакциями F_R и F'_R. Ниже будут рассматриваться только безынерционные устройства, у которых реакции F_R и F'_R равны.

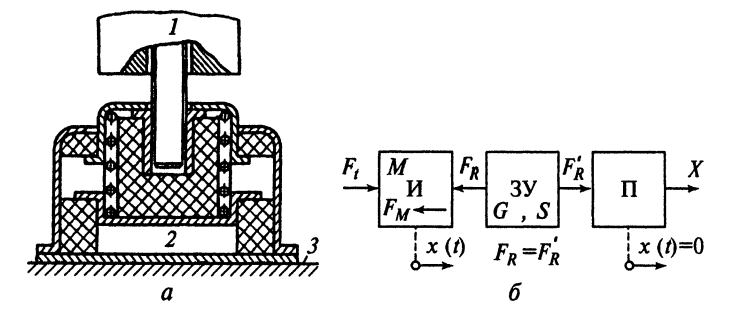


Рис. 11.38. Виброизоляция:

а — устройство виброизоляции (*1* — источник; *2* — виброизолятор; *3* — приемник);
б — схема системы И — ЗУ — П

Различают два вида возбуждения: силовое и кинематическое; при этом соответственно большую массу имеет приемник и его считают неподвижным или источник и закон его движения считают заданным.

При силовом гармоническом возбуждении силой $\widetilde{F}_t = \dot{F}_m e^{j\omega t}$ цель защиты обычно состоит в уменьшении амплитуды силы F_R, передаваемой на приемник. Импеданс виброизолятора определяется формулой (11.51). Импеданс вибросистемы

$$\dot{z} = \dot{z}_M + \dot{z}_R = \frac{G}{\omega}\left[\eta + j\left(\frac{\omega^2}{\omega_0^2} - 1\right)\right].$$

Поток энергии на входе в ЗУ определяется усредненной за цикл мощностью вынуждающей силы [3]:

$$W^+ = \frac{1}{2}\mathrm{Re}(\widetilde{F}_t^*\widetilde{v}) = \frac{1}{2}\mathrm{Re}(\widetilde{F}_t\ \widetilde{v}^*) = \frac{1}{2}(\dot{z}\widetilde{v}\cdot\widetilde{v}^*) = \frac{1}{2}zv_m^2.$$

Поток энергии на выходе из защитного устройства определяется усредненной за цикл мощностью реакции защитного устройства [3]:

$$W^{\sim} = \frac{1}{2}\mathrm{Re}(\widetilde{F}_R\widetilde{v}^*) = \frac{1}{2}\mathrm{Re}(\dot{z}_R\widetilde{v}\cdot\widetilde{v}^*) = \frac{1}{2}z_R v_m^2.$$

Отношение мощностей $W^+/W^{\sim}$ называют силовым коэффициентом защиты $k_F = z/z_R$. Из соотношений $\widetilde{F}_t = \dot{z}\widetilde{v}$ и $\widetilde{F}_R = \dot{z}_R\widetilde{v}$ видно, что он при определенных условиях равен отношению амплитуды вынуждающей силы к амплитуде силы, переданной на приемник.

При кинематическом возбуждении цель защиты обычно заключается в уменьшении передаваемого смещения. Степень реализации

этой цели характеризуют динамическим коэффициентом защиты k_x, равным отношению амплитуды смещения источника к амплитуде смещения приемника. Можно показать, что $k_x = z/z_R$.

В общем случае энергетический коэффициент защиты можно выразить в виде $k_W = k_F k_X$.

По формуле (11.39) *эффективность виброизоляции*

$$e = 10\lg k_w = 20\lg\left|\frac{\dot{z}}{\dot{z}_R}\right|. \qquad (11.52)$$

В области высоких частот импеданс $\dot{z} \approx \dot{z}_M$ (см. выше) и эффективность виброизоляции равна $e \approx 40\lg\omega/\omega_0 - 10\lg(1 + \eta^2)$. В частности, если демпфирующее сопротивление мало влияет на движение системы, то величиной η можно пренебречь. Тогда $e = 40\lg\omega/\omega_0$, т. е. в области высоких частот почти вся энергия затрачивается на движение массы; поток энергии, передаваемой на приемник, обратно пропорционален квадрату частоты возбуждения, и эффективность виброизоляции тем выше, чем больше частота ω.

В области низких частот $\dot{z} \approx \dot{z}_G$ и эффективность виброизоляции $e \approx -10\lg(1 + \eta^2)$, т. е. отрицательна или равна нулю.

В общем случае из выражения (11.52) следует, что эффективность виброизоляции

$$e = 10\lg[\eta^2 + (\omega^2/\omega_0^2 - 1)^2] - 10\lg(1 + \eta^2).$$

Если потери в защитном устройстве отсутствуют ($\eta = 0$), то эффективность

$$e = 20\lg(\omega^2/\omega_0^2 - 1).$$

Из последнего выражения видно, что цель виброизоляции ($e > 1$) обеспечивается в частотном диапазоне: $\omega > \sqrt{2}\omega_0$.

На рис. 11.39 представлены коэффициент виброизоляции τ и эффективность виброизоляции e в зависимости от отношения частоты вынуждающей силы к собственной частоте вибросистемы при разных значениях отношения импеданса демпфирующего элемента к его критическому значению.

В качестве виброизоляторов используют упругие материалы и прежде всего металлические пружины, резину, пробку, войлок. Выбор того или иного материала обычно определяется величиной требуемого статического прогиба и условиями, в которых виброизолятор будет работать (например, температурой, химической агрессивно-

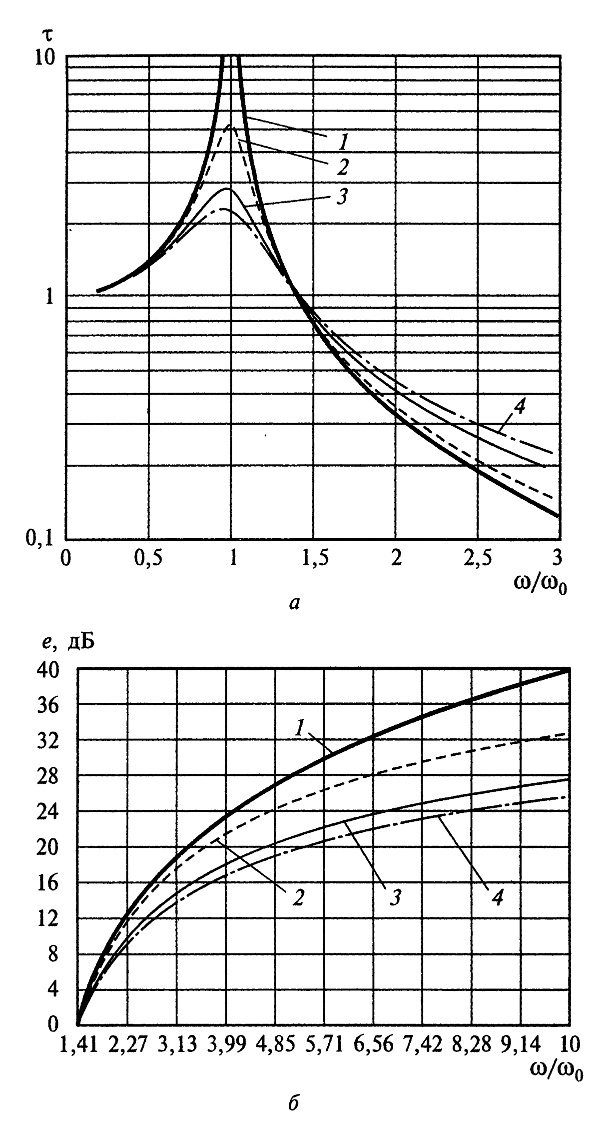


Рис. 11.39. Коэффициент виброизоляции $\tau = 1/k_F$ (*а*) и эффективность виброизоляции *e* (*б*) в зависимости от отношения частот и при значениях отношения $S/S_{кр}$: кривая *1* — 0; кривая *2* — 0,4; кривая *3* — 0,8; кривая *4* — 1

стью рабочей среды и т. д.). Зависимость между статическим прогибом и собственной частотой для некоторых материалов показана на рис. 11.40.

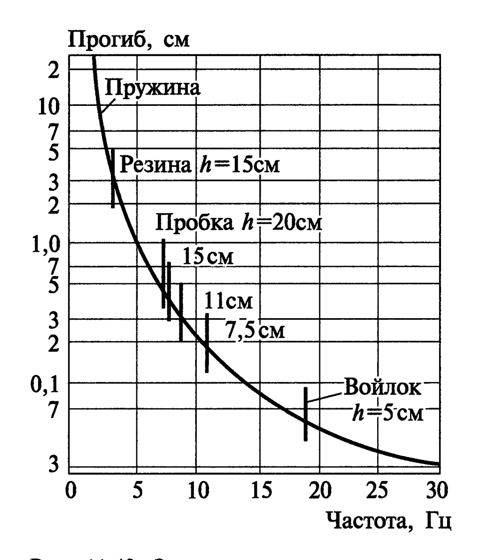


Рис. 11.40. Зависимость между статическим прогибом и собственной частотой некоторых виброизолирующих материалов: h — толщина материала

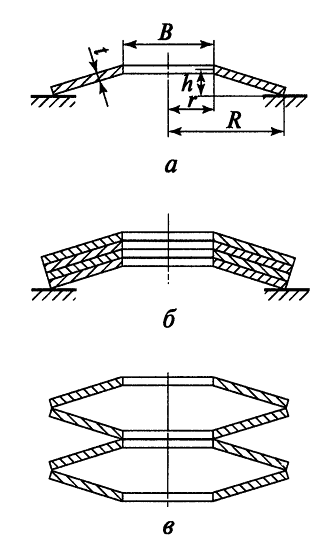


Рис. 11.41. Поперечное сечение дисковой пружины (*а*) и соединения дисковых виброизоляторов — параллельное (*б*) и последовательное (*в*)

Резина имеет малую плотность, хорошо крепится к деталям, ей легко придать любую форму и она обычно используется для виброизоляции машин малой и средней массы (ДВС, электродвигателей и др.). В виброизоляторах резина работает на сдвиг и (или) сжатие. Жесткость резиновой подушки, работающей на сжатие, зависит от ее размеров и конструктивных особенностей, направленных на предотвращение распучивания резины в стороны при действии нагрузки.

Металлические пружины применяют обычно тогда, когда требуется большой статический прогиб или когда рабочие условия (например, температура, агрессивность среды) делают невозможным применение резины. Конструктивно пружинные виброизоляторы можно выполнить для работы практически на любой частоте. Однако металлические пружины имеют тот недостаток, что, будучи спроектированы на низкую частоту (например, 15 Гц для ДВС), они пропускают более высокие частоты.

Большое применение находят конические дисковые пружины (рис. 11.41, *а*). Изменяя отношение h/t, получают необходимый прогиб. Конструктивно отдельные дисковые пружины можно соединять параллельно (см. рис. 11.41, *б*) или последовательно (см. рис. 11.41, *в*).

При параллельном соединении нагрузка при заданном прогибе возрастает пропорционально числу дисков, при последовательном — прогиб при заданной нагрузке увеличивается пропорционально их числу. Отношение диаметров $2R/B$ в большинстве случаев выбирают равным 1,5...3,5.

Пробку используют при нагрузке 50...150 кПа, отвечающей рекомендованному диапазону упругости. Обычно установку сначала устанавливают на бетонные блоки и уже последние отделяют от фундамента с помощью нескольких слоев пробковой плитки толщиной 2...15 см. Увеличение толщины будет понижать частоту, выше которой виброизоляция эффективна, но при большой толщине возникает проблема устойчивости. Поэтому пробку не применяют в области низких частот. Нефть, вода, умеренные температуры оказывают незначительный эффект на рабочие характеристики пробки, но с течением времени от нагрузки пробка сжимается.

Войлок толщиной 1...2,5 см, занимающий площадь 5 % общей площади основания машины,— весьма распространенный изолирующий материал. Он имеет относительно большой коэффициент потерь ($\eta \approx 0{,}13$) и поэтому эффективен на резонансных частотах. Обычно войлок применяют в частотном диапазоне свыше 40 Гц.

Динамическое виброгашение. Защита от вибраций методами поглощения, основанная на общих принципах, изложенных ранее, осуществляется в виде динамического гашения и вибропоглощения.

При динамическом гашении виброэнергия поглощается ЗУ. Это устройство, отбирающее виброэнергию от источника — объекта защиты — на себя, называют *инерционным динамическим виброгасителем*. Его применяют для подавления моногармонических узкополосных колебаний. Инерционный динамический виброгаситель *2* простейшего типа выполняют в виде твердого тела, упруго присоединяемого к объекту защиты *1* в точке, колебания которой требуется погасить (рис. 11.42, *а*). Защитное устройство, увеличивающее рассеяние энергии в результате повышения диссипативных свойств системы, называют *поглотителем вибраций*. На рис. 11.42, *б* показана схема простейшего поглотителя вибраций *3* вязкого типа, включающего твердые тела и демпфирующий элемент. Возможно применение комбинированных защитных устройств, использующих одновременно коррекцию упругоинерционных и диссипативных свойств системы. В этом случае говорят о *динамических виброгасителях с трением 4* (см. рис. 11.42, *в*).

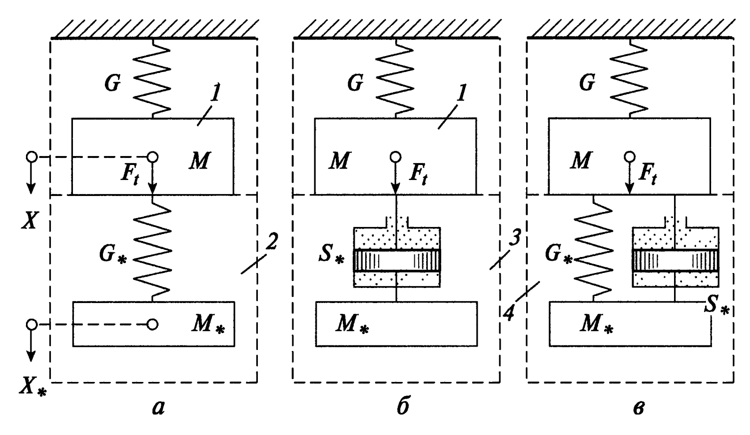


Рис. 11.42. Динамические виброгасители:
а — инерционный; *б* — поглотитель; *в* — с трением

Рассмотрим принцип динамического гашения на простейшем примере. Для инерционного динамического гасителя (см. рис. 11.42, *а*) можно записать систему двух уравнений, описывающую вибрации:

$$\dot{z}_M \tilde{v} + \dot{z}_G \tilde{v} - \dot{z}_{G_*}(\tilde{v}_* - \tilde{v}) = F_t \,;$$

$$\dot{z}_{M_*} \tilde{v}_* + \dot{z}_{G_*}(\tilde{v}_* - \tilde{v}) = 0 \,.$$

Уже из второго уравнения видно, что при $v_* \neq 0$ виброскорость v объекта защиты будет равна нулю, если массу M_* и жесткость G_* динамического гасителя выбрать из условия $\sqrt{G_* / M_*} = \omega$, где ω — частота вынуждающей силы F_t. Если это условие не выполняется (например, из-за некоторого отклонения частоты ω вынуждающей силы от номинального значения, на которое настроен гаситель), то динамический гаситель может оказаться вредным. Поэтому инерционные динамические гасители применяют только в тех случаях, когда частота вынуждающей силы строго фиксирована в условиях эксплуатации (например, для гашения колебаний опор генераторов переменного тока). При возможном непостоянстве частоты вынуждающей силы необходимо вводить демпфирование.

Вибропоглощение. *Вибропоглощение* — метод снижения вибраций путем усиления в конструкции процессов внутреннего трения, рассеивающих виброэнергию в результате необратимого преобразования ее в теплоту при деформациях, возникающих в материалах, из которых изготовлена конструкция, и в местах сочленения ее элементов (заклепочных, резьбовых, прессовых и др.).

Количество рассеянной энергии принято характеризовать коэффициентом потерь η. С увеличением коэффициента η эллипс у петли гистерезиса (см. рис. 11.37) становится шире и все большая часть энергии переходит в тепловую. Если же $\eta = 0$, то механическая энергия не переходит в тепловую: энергия, передаваемая системе от ис-

точника в течение одного полупериода, возвращается к источнику за время второго полупериода. Можно показать, что коэффициент потерь связан с коэффициентом демпфирования соотношением $\delta = \eta\omega_0/2$. Подстановка этого выражения в формулу (11.47) наглядно показывает, что с увеличением коэффициента потерь вибрации прекращаются быстрее; метод вибропоглощения нацелен на получение повышенных значений коэффициента потерь в конструкции. В табл. 11.21 приведены ориентировочные значения коэффициента потерь некоторых материалов.

Механические конструкции из небольшого числа разнородных деталей относительно большой толщины (например, корпус судна) имеют коэффициент $\eta \approx 3 \cdot 10^{-3}$ при $f < 500$ Гц и $\eta \approx 10^{-3}$ при $f > 1000$ Гц; металлические конструкции из относительно большого числа разнородных толстостенных деталей (например, двигатель) или малого числа тонкостенных деталей (например, корпус автомобиля) имеют коэффициент $\eta \approx 10^{-2}$, металлические конструкции из относительно большого числа разнородных деталей малой толщины (небольшие сложные агрегаты) имеют $\eta \approx 5 \cdot 10^{-2}$ при $f < 500$ Гц и $\eta \approx 10^{-2}$ при $f > 1000$ Гц.

Таблица 11.21. **Механические свойства и коэффициенты потерь некоторых материалов**

Материал	Модуль упругости, кН/мм^2	Модуль сдвига, кН/мм^2	Коэффициент Пуассона	Коэффициент потерь
Алюминий	72	27	0,36	$< 10^{-4}$
Сталь	200	77	0,31	$10^{-4}...10^{-3}$
Свинец	17	6	0,43	$10^{-3}...10^{-2}$
Медь	125	45	0,35	$2 \cdot 10^{-3}$
Латунь	95	36	0,33	$\approx 10^{-3}$
Цинк	13	5	0,33	$\approx 10^{-3}$
Оргстекло	5,6	—	—	$2 \cdot 10^{-2}$

В настоящее время вибропоглощение осуществляется преимущественно путем применения конструкционных материалов с повышенным значением коэффициента потерь и вибропоглощающих покрытий.

Конструкционные материалы с большим внутренним трением обычно создаются искусственно. В специальных сплавах коэффициент потерь может достигать значений $10^{-1}...2 \cdot 10^{-2}$: сплавы магния — 0,3; сплавы меди — 0,2; хайдаметы (сплавы Ni — Co, Co — Ti, Cu — Ni) — 0,15; сплавы марганца — 0,01 — 0,06; у капрона и текстолита коэффициент потерь соответственно равен 0,4 и 0,35. В качестве

конструкционных материалов используют также высокомолекулярные соединения, у которых коэффициент потерь имеет порядок 10^{-2}. Для полимеров типична сильная зависимость коэффициента потерь от температуры и частоты.

Перспективным в вибропоглощении является нанесение на колеблющиеся поверхности элементов конструкции высокоэффективных вибропоглощающих материалов. Они могут изготовляться на основе меди, свинца, олова, битумов и других материалов. Большое распространение получила многокомпонентная система на основе полимера, способного рассеивать механическую энергию в большом количестве при основных деформациях: растяжении, изгибе, сдвиге. Из других компонентов полимерной системы главными являются пластификаторы и наполнители. Пластификаторы (низкомолекулярные труднолетучие вещества, например сложные эфиры, некоторые парафины и масла) придают полимеру требуемое сочетание свойств эластичности и пластичности. Наполнители (сажа, графит, слюда и др.) сообщают материалу необходимые эксплуатационные свойства; они могут, например, повысить его прочность, облегчить обработку, снизить стоимость и т. д. Вибропоглощающий материал выпускается промышленностью в отвержденном в виде листов и мастичном состояниях.

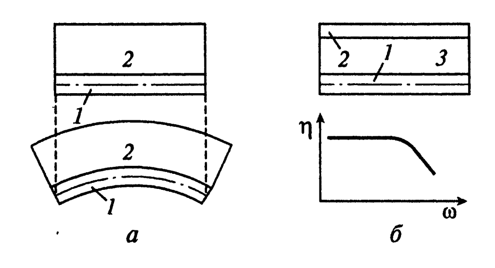
Листовой материал приклеивается к вибрирующей поверхности; мастику наносят методом штапелирования или напыления. В большинстве случаев вибропоглощающим материалом демпфируют изгибные колебания конструкций типа пластин. При *жестком наружном покрытии* (рис. 11.43, *а*) поверхность *1* пластины накрывается слоем жесткого вибропоглощающего материала *2*. Такое покрытие рассеивает энергию колебаний при своих продольных деформациях, имеющих характер растяжений — сжатий. Коэффициент потерь конструкций, демпфированной жестким покрытием:

$$\eta^{+} = \eta_2 \frac{E_{21} h_{21} (3 + 6E_{21} + 4E_{21}^2 + 2E_{21}^3 h_{21} + E_{21}^4 h_{21}^2)}{(1 + E_{21})[1 + 2h_{21}(2E_{21} + 3E_{21}^2 + 2E_{21}^3) + E_{21}^2 h_{21}^4]},$$

где $E_{21} = E_2/E_1$ и $h_{21} = h_2/h_1$ — отношения соответственно модулей упругости и толщины (см. рис. 11.43, *а*), η_2 — коэффициент потерь материала покрытия.

Жесткое наружное покрытие с прокладкой имеет повышенный по сравнению с предыдущим коэффициент потерь, так как между слоем вибропоглощающего материала и пластиной расположен слой легкого жесткого полимера (например, пенопласта) (см. рис. 11.43, *б*). Он удаляет вибропоглощающий материал от нейтральной плоскости (не испытывающей деформаций при изгибе), при этом увеличивается его

Рис. 11.43. Наружные покрытия:
а — жесткое; *б* — жесткое с прокладкой; *1* — вибрирующая пластина; *2* — вибропоглощающий материал; *3* — прокладка



виброскорость, возрастает деформация растяжения и, следовательно, увеличиваются потери энергии в покрытии. С увеличением частоты покрытие эффективно работает до тех пор, пока в прокладке не возникнут деформации сдвига. При возникновении последних прокладка перестает эффективно передавать на вибропоглощающий слой растягивающие усилия от изгибов пластины.

Кроме жестких покрытий, применяют также: армированные покрытия, когда на слой вибропоглощающего материала наносится тонкий слой другого материала (обычно металла), который упрочняет, усиливает или защищает вибропоглощающий слой; слоистые покрытия, когда толщина упрочняющего металлического слоя близка к толщине пластины; и мягкие наружные покрытия, которые представляют собой слой вибропоглощающего материала, легко сжимаемого по толщине и рассеивающего энергию изгибных колебаний в результате деформаций в поперечном направлении. В рассмотренных жестких покрытиях коэффициент потерь зависит от частоты. При этом его наибольшие значения приходятся на область низких — средних частот.

Эффективность вибропоглощения

$$e = L_{\eta^+} - L_{\eta^-} = 10\lg \eta^+/\eta^-,$$

где L_{η^-} и L_{η^+} — уровни рассеиваемой энергии до и после осуществления вибропоглощающих мероприятий.

Чтобы учесть рассеивание энергии вследствие применения конструкционных материалов, введем сквозную нумерацию слоев: материал, на который наносится вибропоглощающий слой, назовем нулевым слоем; над нулевым слоем располагается первый слой, над первым — второй и т. д. Тогда, пользуясь формулой (11.38), запишем

$$\eta^+ = \left(\sum_{i=0}^{n} \eta_i \varepsilon_i\right) \Big/ \sum_{i=0}^{n} \varepsilon_i ,$$

где ε_i и η_i — соответственно максимальная потенциальная энергия и коэффициент потерь i-го слоя; n — число слоев.

11.3.3. Защита от шума, электромагнитных полей и излучений

Уровень интенсивности в свободном волновом поле. Уравнение плоской волны, не затухающей с расстоянием, в комплексной форме имеет вид

$$\tilde{u} = \dot{u}_m e^{j(\omega t - \mathbf{kr})}; \tag{11.53}$$

здесь $\dot{u}_m = u_m e^{j\varphi_u}$ — комплексная амплитуда; $\mathbf{r}$ — радиус-вектор рассматриваемой точки; $\mathbf{k}$ — волновой вектор, численно равный волновому числу

$$k = \omega/c = 2\pi/\lambda,$$

где c и λ — соответственно скорость распространения и длина волны.

Распространение волны всегда связано с переносом энергии, которая количественно характеризуется мгновенным вектором плотности потока энергии $\mathbf{I}_t$. На практике обычно пользуются понятием *интенсивности волны* I, которая равна модулю среднего значения вектора $\mathbf{I}_t$ за время, равное периоду T полного колебания. Найдем интенсивности звука и электромагнитной волны. Для этого введем понятие импеданса среды при распространении волны.

Комплексным импедансом среды при распространении звуковой волны назовем отношение

$$\dot{z} = \tilde{p} / \tilde{v},$$

где p и v — соответственно звуковое давление и колебательная скорость.

Комплексным импедансом среды при распространении электромагнитной волны назовем отношение поперечных составляющих электрического (E) и магнитного (H) полей в данной точке:

$$\dot{z} = \tilde{E} / \tilde{H}. \tag{11.54}$$

В дальнейшем все основные соотношения, которые будут использоваться при рассмотрении звуковых и электромагнитных полей, являются однотипными. Поэтому удобно ввести следующее обозначение: $u \equiv p$ для звука и $u \equiv E$ для электромагнитного поля. С учетом этого обозначения при определении интенсивности звуковой волны или при определении интенсивности электромагнитной волны можно использовать одну и ту же форму*:

---

* См. [3].

$$I = \frac{1}{2}\mathrm{Re}(\tilde{u}^*\tilde{u} / \dot{z}) = u_m^2 / 2z = u_{эф}^2 / z\,, \qquad (11.55)$$

где $u_{эф} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2 \mathrm{d}t}$ — эффективное значение величины u.

При заданных стандартом референтных значениях* I_*, u_*, z_*, удовлетворяющих условию $I_* = u_*^2/z_*$, выражение (11.55) можно записать в уровнях:

$$L_I = L_u + L_z, \qquad (11.56)$$

где $L_I = 10\lg I/I_*$, $L_u = 20\lg u_{эф}/u_*$ и $L_z = 10\lg z/z_*$ — уровни величин I, u, z.

Суммарная интенсивность некогерентных источников

$$I_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} I_i\,.$$

Следовательно, *уровень суммарной интенсивности*

$$L_{I_\Sigma} = 10\lg I_\Sigma / I_* = 10\lg \sum_{i=1}^{n} 10^{0{,}1 L_{I_i}}\,,$$

где L_{I_i} и n — соответственно уровень интенсивности i-го источника и число источников. Если все n источников имеют одинаковый уровень интенсивности, равный L_I, то уровень суммарной интенсивности будет равен

$$L_{I_\Sigma} = L_I + 10\lg n.$$

Реальные источники излучают волны неодинаково в различных направлениях. Интенсивность ($I_{Н}$) и уровень интенсивности $L_{I_{Н}}$ источника ненаправленного действия мощностью W на расстоянии r соответственно равны:

$$I_{Н} = W/4\pi r^2;\;\; L_{I_{Н}} = L_W + 10\lg S_e/S(r). \qquad (11.57)$$

Здесь $L_W = 10\lg W/W_*$ — уровень мощности при заданном референтном значении W_*, и принято условие, которое в дальнейшем всегда будет использоваться при переходе к уровням, что $W_* = I_* S_e$, где S_e — единичная площадь; $S(r) = 4\pi r^2$.

Источники направленного действия обычно характеризуют *характеристикой (диаграммой) направленности* и *коэффициентом направленности.*

---

* Числовые значения референтных величин различны для звука и ЭМП.

Амплитудная характеристика направленности D представляет собой отношение колеблющейся величины u, взятой в данном направлении на некотором расстоянии от источника, к ее значению u_*, взятому на том же расстоянии в направлении максимального излучения. С учетом формулы (11.55) можно записать

$$D = u/u_*; \ D^2 = I/I_*. \tag{11.58}$$

Коэффициент направленности определяется выражением

$$\Phi = I/I_{\text{Н}}, \tag{11.59}$$

где I — интенсивность волны на некотором расстоянии r от источника направленного действия мощностью W, излучающего волновое поле в телесный угол Ω; $I_{\text{Н}}$ — интенсивность волны на том же расстоянии при замене данного источника на источник ненаправленного действия той же мощности.

В общем случае в сферической системе координат характеристика направленности D и коэффициент направленности Φ зависят от углов θ и φ; $D = D(\theta, \varphi)$, $\Phi = (\theta, \varphi)$. Для осесимметричных источников $D = D(\theta)$, $\Phi = \Phi(\theta)$, т. е. они не зависят от координаты φ. Например, для многих источников характеристика направленности имеет вид:

$$D = D(\theta) = 0{,}5(m + 1)\cos^m\theta, \tag{11.60}$$

где m — некоторое число.

Из определения коэффициента направленности следует

$$\Phi = \frac{I}{\int\limits_{\Omega} IdS / 4\pi r^2} = \frac{D^2}{\int\limits_{\Omega} D^2 dS / 4\pi r^2}\,. \tag{11.61}$$

Здесь интегрирование проводят по площади поверхности, через которую в дальнем поле излучается энергия, так как поток интенсивности через непроницаемую поверхность равен нулю. При характеристике направленности $D = 1$ коэффициент направленности удобно находить через значение телесного угла, в который реально происходит излучение:

$$\Phi = \frac{D^2}{\int\limits_{\Omega} D^2 dS / 4\pi r^2} = \frac{4\pi}{\int\limits_{\Omega} d\Omega} = \frac{4\pi}{\Omega}\,. \tag{11.62}$$

В зависимости от местоположения источника значения коэффициента направленности при $D = 1$ соответствуют следующей таблице:

Местоположение источника излучения	Угол излучения Ω	Значение коэффициента направленности Φ
В свободном пространстве	4π	1
На плоскости	2π	2
В двугранном угле	π	4
В трехгранном угле	$\pi/2$	8

Таким образом, интенсивность можно выразить через мощность источника следующим образом:

$$I = \begin{cases} I_{\text{н}}\Phi = W\Phi/4\pi r^2 & \text{– при любой характеристике направленности } D; \\ W/\Omega r^2 & \text{– при характеристике направленности } D = 1. \end{cases} \quad (11.63)$$

При необходимости учесть затухание в уравнение (11.53) вводят вместо волнового числа k комплексное волновое число $\dot{k}_*$, *или коэффициент распространения* $\hat{k}_*$:

$$\dot{k}_* = \gamma - j\delta = -j\hat{k}_*, \quad (11.64)$$

где γ и δ — соответственно коэффициент фазы и коэффициент затухания. Амплитуда затухающей волны будет равна $\dot{u}_m(\delta) = \dot{u}_m \mathrm{e}^{-\delta r}$, а интенсивность волны будет затухать по закону:

$$I(\delta) = \frac{u_m^2(\delta)}{2z} = \frac{u_m^2}{2z}\mathrm{e}^{-2\delta r} = I\mathrm{e}^{-2\delta r} = I_{\text{н}}\Phi \mathrm{e}^{-2\delta r}. \quad (11.65)$$

На расстоянии r затухание интенсивности в децибелах (дБ)

$$e_\delta = 10\lg I/I(\delta) = (20\lg e)\delta r = \delta_0 r, \quad (11.66)$$

где $\delta_0 \approx 8{,}686\delta$ — коэффициент затухания, выраженный в децибелах на единицу длины.

Полагая $W_* = I_* S_e$ и $S(r) = 4\pi r^2$, из выражения (11.65) находим *уровень интенсивности с учетом затухания:*

$$L_{I(\delta)} = L_{I_{\text{н}}} + 10\lg\Phi - e_\delta = L_W + 10\lg\Phi + 10\lg(S_e/4\pi r^2) - e_\delta. \quad (11.67)$$

Таким образом, уровень интенсивности в данной точке определяется через уровень мощности и коэффициент направленности. Формула (11.67) справедлива в *свободном волновом поле,* т. е. поле, не имеющее границ, от которых могло бы происходить отражение волн.

Свободное поле можно создать и в помещении, если сделать последнее из материала, полностью поглощающего энергию падающей волны. Величину 10lgФ называют *показателем направленности* и обозначают ПН.

Таблица 11.22. **Коэффициент затухания звука в воздухе, дБ/км**

Относительная влажность воздуха, %	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	0,8	1,5	3,8	12,1	40	109	196
40	0,4	1,3	2,8	4,9	11	34	120
80	0,2	0,9	2,7	5,5	9,7	21	66

Для звука коэффициент затухания δ_0 зависит от частоты звука, температуры, давления и относительной влажности воздуха. При нормальном атмосферном давлении и температуре воздуха, равной $+20^\circ$C, значения коэффициента δ_0 даны в табл. 11.22. Для электромагнитной волны, распространяющейся в воздухе, $\delta_0 \approx 0$ (см. ниже). Следует иметь в виду, что в реальных условиях уровень затухания e_δ зависит также от погодных условий (дождь, снег, туман и т. д.), наличия растительности (трава, кустарник, деревья и т. д.), состояния атмосферы (ветер, туман, турбулентность, температурные градиенты и т. д.), наличия отражающих поверхностей (земля, преграды, экраны и т. д.) и ряда других факторов и вычисляется по формуле $e_\delta = \sum_{i=1}^{n} e_{\delta(i)}$, где $e_{\delta(i)}$ — уровень затухания при наличии i-го фактора. Если затуханием можно пренебречь ($\delta = 0$), то уровень интенсивности

$$L_I = L_W + \text{ПН} + 10\lg S_e/(4\pi r^2). \tag{11.68}$$

Диффузное волновое поле в изолированных объемах. *Волновое поле* называют *диффузным*, если усредненная по времени объемная плотность энергии $w = w_\text{Д}$ одинакова во всех точках, а поток энергии через единичную площадку в любой точке и в любом направлении постоянен и равен $I_\text{Д}$.

Для бегущей с плотностью $w_\text{Д}$ волны интенсивность $I_\text{В} = cw_\text{Д}$, которая в диффузном поле равномерно распределяется во все стороны пространства 4π и, следовательно, на полусферу приходится $I_\text{В}/2$. Поэтому нормально к диаметральному сечению сферы радиуса r в противоположных направлениях с интенсивностью $I_\text{В}/2$ распространяются две волны.

Через площадь πr^2 этого сечения в полусферу переносится поток энергии $I_{В}\pi r^2/2$, который затем с плотностью $I_{Д}$ изотропно распределяется по всем направлениям полусферы. Из соотношения $I_{В}\pi r^2/2 = I_{Д}2\pi r^2$ следует

$$I_{Д} = I_{В}/4 = cw_{Д}/4. \qquad (11.69)$$

Таким образом, поток энергии через единичную площадку в диффузном волновом поле в четыре раза меньше интенсивности $I_{В}$ волн, бегущих с объемной плотностью $w_{Д}$.

Понятие диффузного поля часто используют при определении плотности потока энергии $I_{П}$ в изолированных объемах. Под изолированным объемом понимается пространство, огражденное стенками (например, производственное помещение, кабина, пространство под кожухом машины и т. д.). Волны в изолированных объемах, многократно отражаясь, образуют поле, которое изменяется при изменении геометрических размеров, формы и других характеристик источника.

Волновое поле в каждой точке изолированного объема можно представить в виде совокупности волн, непосредственно приходящих в эту точку от источника — прямая волна с интенсивностью $I = cw$, и совокупности волн, попадающих в нее после отражений от границ изолированного объема — отраженная волна с интенсивностью $I_{В} = cw_{Д}$ (рис. 11.44). Поэтому суммарная интенсивность ($I_{П} = cw_{П}$) в заданной точке изолированного объема на некотором расстоянии от поверхности равна сумме интенсивностей прямой и отраженной волн:

$$I_{П} = I + I_{В} = I + 4I_{Д}. \qquad (11.70)$$

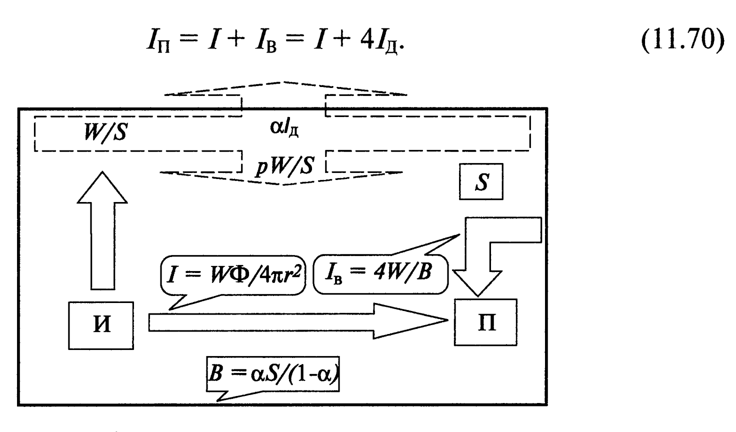


Рис. 11.44. Диффузное поле отраженной волны

Интенсивность прямой волны в общем случае определяется формулой (11.65). Выразим плотность потока энергии $I_{Д}$ через мощность источника. При работе источника в изолированный объем постоянно поступает энергия. При мощности источника W отраженный от границ полный поток энергии составит ρW, а от единичной площадки — $\rho W/S$. За единицу времени через единичную площадку границы вследствие поглощения исчезнет количество энергии, равное $\alpha I_{Д}$. Так как в диффузном поле плотность энергии постоянная, то должно соблюдаться равенство $\rho W/S = \alpha I_{Д}$. Для простоты дальнейших рассуждений здесь предполагается, что коэффициент α значительно больше коэффициента τ. Уравнение (11.70) принимает вид

$$I_{П} = \frac{W\Phi}{4\pi r^2} e^{-2\delta r} + \frac{4W}{\alpha S}(1-\alpha). \qquad (11.71)$$

Из полученного выражения видно, что в изолированном объеме плотность потока энергии получает некоторое приращение, которое аналитически обусловлено наличием множителя $(1 - \alpha)/\alpha$, который велик при коэффициенте α, близком к нулю.

В изолированных объемах малых размеров затуханием звука с расстоянием можно пренебречь, полагая в формуле (11.71) $\delta = 0$.

Защитные устройства бесконечной и конечной толщины

Теоретическое защитное устройство бесконечной толщины можно рассматривать просто как среду, бесконечно простирающуюся в направлении распространения волны. Волна из одной среды проходит в другую (защитное устройство), предварительно попадая на границу раздела этих сред, при этом в общем случае существуют три волны: падающая, отраженная и преломленная (прошедшая).

При прохождении границы раздела сред без поглощения должен соблюдаться закон сохранения энергии, который можно записать в виде $I^- + I^\sim = I^+$, и для рассматриваемых величин n (звукового давления и напряженности электрического поля) равенство амплитуд поля в среде i и среде j : $u^+_m + u^-_m = u^\sim_m$) (рис. 11.45). Эти соотношения совместно с формулой (11.55) позволяют найти *амплитудный коэффициент отражения* R_{ij} и *амплитудный коэффициент передачи* T_{ij} при нормальном падении волны на границу (i, j) из среды i:

$$R_{ij} = \frac{z_j - z_i}{z_j + z_i}; \quad T_{ij} = \frac{2z_j}{z_j + z_i}. \qquad (11.72)$$

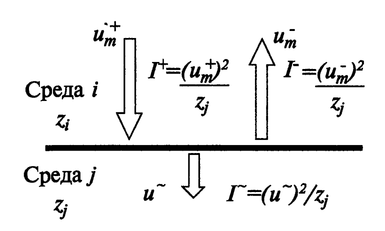


Рис. 11.45. Баланс энергии на границе раздела сред

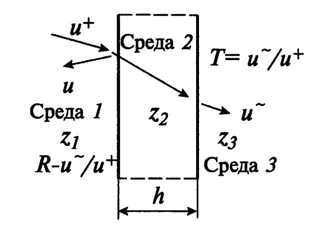


Рис. 11.46. Схема защитного устройства конечной толщины

При этом имеем $T_{ij} = 1 + R_{ij}$, $R_{ij} = -R_{ij}$, $-1 \le R_{ij} \le 1$, $0 \le T_{ij} \le 2$.

В общем случае защитное устройство имеет конечную толщину. Для случая, когда гармоническая волна из среды *1* (рис. 11.46) падает на защитное устройство произвольной толщины h, состоящее из среды *2*, ограниченной с другой стороны средой *3*, амплитудные коэффициенты отражения и передачи равны [2].

$$R = \frac{\dot{z}_{вх} - \dot{z}}{\dot{z}_{вх} + \dot{z}}; \quad \dot{z}_{вх} = \dot{z}_2 \frac{(1+z_{32})e^{\hat{k}_* h} + (z_{32}-1)e^{-\hat{k}_* h}}{(1+z_{32})e^{\hat{k}_* h} - (z_{32}-1)e^{-\hat{k}_* h}}; \tag{11.73}$$

$$T = 4z_{32}/[(1 + z_{32})e^{\hat{k}_* h} - (z_{32} - 1)e^{-\hat{k}_* h}]. \tag{11.74}$$

Здесь коэффициент отражения R записан аналогично формуле (11.72) через входной импеданс защитного устройства — $z_{вх}$, $z_{12} = \dot{z}_1/\dot{z}_2$, $z_{32} = \dot{z}_3/\dot{z}_2$, где $\dot{z}_1$, $\dot{z}_2$, $\dot{z}_3$ — импедансы сред (в общем случае комплексные величины).

Если по обе стороны от защитного устройства находится одна и та же среда, то импедансы сред $\dot{z}_1$ и $\dot{z}_3$ равны. Тогда формулы (11.73) и (11.74) преобразуются к виду

$$\dot{R} = (z_{12}^{-1} + z_{12}) / (z_{12}^{-1} + z_{12}) + 2\mathrm{cth}\hat{k}_* h; \tag{11.75}$$
$$\dot{T} = [\mathrm{ch}\hat{k}_* h + 0{,}5(z_{12}^{-1} + z_{12})\mathrm{sh}\hat{k}_* h]^{-1}.$$

Эти амплитудные коэффициенты R и T при нормальном падении волн связаны с энергетическими коэффициентами ρ и τ соотношениями $\rho = R^2$, $\tau = T^2$, эффективность защиты

$$e = 20\lg|\{\mathrm{ch}\hat{k}_* h + 0{,}5(z_{12}^{-1} + z_{12})\mathrm{sh}\hat{k}_* h]|. \tag{11.76}$$

В некоторых случаях для расчета эффективности защиты удобно вместо выражения (11.76) использовать следующую запись:

$$e = e_k + e_z + e_h, \tag{11.77}$$

где $e_k = (20\lg e)\delta h$, $e_z = 20\lg|0{,}25(1 + z_{12})^2/z_{12}|$, $e_h = 20\lg|[1 - (1 - z_{12})^2 e^{-2\hat{k}_* h}/(1 + z_{12})^2]|$ — слагаемые эффективности за счет ослабления волн соответственно в материале защитного устройства, при прохождении границы раздела сред (*1, 2*) и при многократных отражениях внутри защитного устройства. Так как с увеличением частоты коэффициент k_* возрастает, то $e_h \to 0$ и эффективность изоляции высокочастотных полей $e \approx e_k + e_z$.

Прогнозирование шума. Условие безопасности при наличии звукового поля можно записать в виде неравенства

$$L_p(\hat{f}) \le L_{\text{доп}}(\hat{f}), \tag{11.78}$$

где $L_p(\hat{f}) = 20\lg p_{\text{эф}}(\hat{f})/p_*$ и $L_{\text{доп}}(\hat{f})$ — соответственно уровни звукового давления и их нормативные значения. Неравенство (11.78) должно выполняться на всех среднегеометрических частотах и во всех точках рассматриваемого пространства с учетом времени звукового воздействия. Из соотношения (11.56) следует

$$L_p = L_I - L_z. \tag{11.79}$$

Референтные значения звукового давления, интенсивности и импеданса равны: $p_* = 2 \cdot 10^{-5}$ Па, $I_* = 10^{-12}$ Вт/м^2, $z_* = 400$ Па · с/м.

Характеристический импеданс среды для звука равен произведению скорости звука в среде c на ее плотность ρ: $z = \rho c$. Для атмосферного воздуха при $\rho = 1{,}29$ кг/м^3 и $c = 331$ м/с, $z = 430$ кг/(м^2 · с).

Таблица 11.23. **Плотность, скорость звука и характеристический импеданс для некоторых сред и материалов**

Среда, материал	Плотность ρ, кг/м^3	Скорость звука c, м/с	Импеданс $z = \rho c$, Па · с/м
Водород	0,084	1310	110
Вода	1000	1450	$1{,}45 \cdot 10^6$
Бензин	750	1190	$0{,}89 \cdot 10^6$
Алюминий	2650	6220	$16{,}5 \cdot 10^6$
Медь	8930	4620	$41{,}3 \cdot 10^6$
Сталь	6110	7800	$47{,}7 \cdot 10^6$
Стекло	2500	4900...5900	$(12...15) \cdot 10^6$
Полистирол	1160	2670	$3{,}1 \cdot 10^6$
Железобетон	2400	4500	$11 \cdot 10^6$
Кирпич	1500	2750	$4{,}1 \cdot 10^6$
Пробка	240	500	$0{,}12 \cdot 10^6$
Резина (техническая)	1200	60	$0{,}72 \cdot 10^6$

Значение импеданса зависит от температуры и давления. Однако при изменении давления и температуры в пределах обычной атмосферы уровень импеданса $L_z = 10\,\lg z/z_*$ незначителен и им пренебрегают, полагая, что

$$L_I(\hat{f}) = L_p(\hat{f}).$$

В табл. 11.23 приведены значения импеданса z для разных сред.

Уровень интенсивности звука в свободном волновом поле можно определить, используя зависимости (11.67), (11.68).

При определении уровня интенсивности в изолированном объеме в общем случае необходимо учитывать наличие диффузного волнового поля, которое зависит от значений коэффициента звукопоглощения α. Значения коэффициента α вычисляют по правилу: для частот $\hat{f} = 63...1000$ Гц и принимают $\alpha = \alpha_0$, где α_0 определяют по табл. 11.24; для частот $\hat{f} = 2000...8000$ Гц коэффициент α вычисляют по формуле $\alpha = 1 - (1 - \alpha_0)\exp(-2\delta\bar{l})$, где δ в нужной размерности (см. формулу (11.66)) находят с помощью табл. 11.22, а постоянная затухания звуковой энергии в объеме V равна $\bar{l} = 4V / \sum_{i=1}^{n} S_i$, при этом $\sum_{i=1}^{n} S_i = S$ — площади ограждающих изолированных объемов поверхностей. Некоторые ориентировочные значения коэффициента звукопоглощения даны в табл. 11.24. Если стенки изолированного объема изготовлены из n разных материалов, то *среднее значение коэффициента звукопоглощения*

$$\alpha = W_\alpha / W = \left[\frac{\sum_i \alpha_i W_i}{\sum_i W_i^+}\right] = \sum_i (\alpha_i S_i) / \sum_i S_i = S_\alpha / S. \qquad (11.80)$$

Зная среднее значение коэффициента звукопоглощения, можно определить *постоянную изолированного объема,* имеющую размерность площади:

$$B = \frac{\alpha S}{1-\alpha} = \frac{S_\alpha}{1 - S_\alpha / S} = \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{1 - \sum_i \alpha_i S_i / \sum_i S_i}. \qquad (11.81)$$

Пренебрегая затуханием звука с расстоянием, запишем выражение (11.70) в виде

$$I_{\text{П}} = I + I_{\text{В}} = I_{\text{Н}}(\Phi + \Phi') = \frac{W}{S(r)}(\Phi + \Phi') . \qquad (11.82)$$

Здесь для точек r на некотором удалении от ограждающих поверхностей *коэффициент влияния диффузного поля*

$$\Phi' = I_{\text{В}}/I_{\text{Н}} = 4I_{\text{Д}}/I_{\text{Н}} = 4S(r)/B, \qquad (11.83)$$

где $S(r) = 4\pi r^2$. Влияние диффузного поля тем сильнее, чем больше расстояние r от источника звука и чем меньше коэффициент звукопоглощения α. Точки пространства, в которых $\Phi = \Phi'$, лежат на условной границе между *зоной прямого звука* и *зоной отраженного звука*. Они расположены от источника на расстоянии

$$r_* = \sqrt{B\Phi/16\pi} .$$

Разделив левую и правую части выражения (11.82) на референтное значение I_*, найдем уровень интенсивности в точке r:

$$L_{I_{\text{П}}} = L_{I_{\text{Н}}} + 10\ \lg(\Phi + \Phi'), \qquad (11.84)$$

где уровень интенсивности источника ненаправленного действия $L_{I_{\text{Н}}}$ определен формулой (11.57).

При больших значениях коэффициента поглощения α значение постоянной $B \to \infty$ и, как следует из формулы (11.83), во всех конечных точках изолированного объема коэффициент $\Phi' = 0$. Выражение (11.84) не будет отличаться от формулы (11.68) расчета уровня интенсивности в свободном звуковом поле. Все пространство изолированного объема заполнено прямым звуком. На практике, если $\Phi/\Phi' < 0{,}26$ или $\Phi'/\Phi < 0{,}26$, то с точностью до 1 дБ в выражении (11.84) можно полагать, что $10\ \lg(\Phi + \Phi')$ соответственно равно $10\ \lg\Phi'$ или $10\ \lg\Phi$.

Заметим, что радиус r проводят из точки, в которой расположен источник, а для реальных источников — из акустического центра, при этом если источник расположен на плоскости, то акустический центр совпадает с проекцией геометрического центра источника на эту плоскость.

Интенсивности отраженных и прямых волн начинают определенным образом складываться на некотором удалении от ограждающих поверхностей, на которые падает поток энергии с интенсивностью

$$I_{\text{П}} = I + I_{\text{Д}} = I_{\text{Н}}(\Phi + \Phi'), \qquad (11.85)$$

где значение коэффициента влияния диффузного поля в точке R на ограждающей поверхности равно $\Phi' = S(R)/B$.

Таблица 11.24. **Коэффициент поглощения α в производственных помещениях**

Тип помещения	Среднегеометрическая частота f, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Машинные залы, испытательные стенды	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
Механические и металлообрабатывающие цехи; цехи агрегатной сборки в авиа- и судостроительной промышленности	0,10	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12
Цехи деревообработки, посты управления, лаборатории, конструкторские бюро	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14

Звукопоглощение. Для уменьшения отраженного звука применяют защитные устройства, обладающие большими значениями коэффициента поглощения, к ним относятся, например, пористые и резонансные поглотители.

Звуковые волны, падающие на пористый материал, приводят воздух в порах и скелет материала в колебательные движения, при которых возникает вязкое трение и переход звуковой энергии в теплоту.

Будем определять коэффициент отражения защитных устройств по формуле (11.72), аналогичной защитному устройству бесконечной толщины. Для защитного устройства бесконечной толщины коэффициент передачи τ равен нулю и, следовательно, $\alpha = 1 - \rho$. Так как при нормальном падении звуковых волн на поверхность защитного устройства энергетический и амплитудный коэффициенты отражения связаны зависимостью $\rho = R^2$, то

$$\rho = [(\dot{z}_{\text{вх}} - \dot{z}_1)/(\dot{z}_{\text{вх}} + \dot{z}_1)]^2\,; \quad \alpha = 1 - \rho, \tag{11.86}$$

где z_1 — импеданс воздуха. Входной импеданс определяется по формуле (11.73). Для пористого поглотителя, находящегося на акустически жесткой стенке, импеданс $z_3 = \infty$ и, следовательно,

$$z_{\text{вх}} = \dot{z}_2 \operatorname{cth} \hat{k}_* h\,.$$

Этому случаю соответствует частотная характеристика коэффициента α, показанная на рис. 11.47, *а*. Для усиления звукопоглощения на низких частотах между пористым слоем и стенкой делают воздуш-

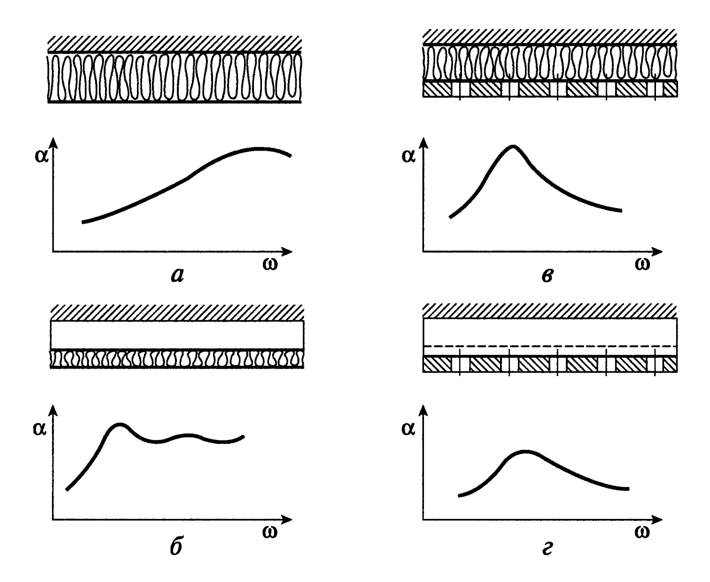


Рис. 11.47. Частотные характеристики коэффициента поглощения:

а — для пористого поглотителя на жесткой стенке; *б* — для пористого поглотителя с воздушной прослойкой; *в* — при наличии перфорированного экрана; *г* — для резонансного поглотителя, образованного перфорированным экраном

ную прослойку (см. рис. 11.47, *б*). Входной импеданс защитного устройства, расположенного на «мягком» основании ($z_3 = 0$), равен

$$z_{\text{вх}} = \dot{z}_2 \operatorname{th} \hat{k}_* h.$$

Пористые поглотители изготовляют из органических и минеральных волокон (древесной массы, кокса, шерсти), из стекловолокна, а также из пенопласта с открытыми порами. Для защиты материала от механических повреждений и высыпаний используют ткани, сетки, пленки, а также перфорированные экраны. Последние существенно изменяют характер поглощения звука защитным устройством (см. рис. 11.47, *в*).

Резонансные поглотители имеют воздушную полость, соединенную отверстием с окружающей средой. Воздух в резонаторе выполняет роль механической колебательной системы, состоящей из элементов массы, упругости и демпфирования. Если пренебречь рассеиванием звуковой энергии, то импеданс резонатора $\dot{z}_2$, равный механическому импедансу (см. формулу (11.48)), отнесенному к единице площади, будет равен нулю на частоте $\omega = \omega_0 \equiv \sqrt{G / M}$. При импедансе резонатора $z_2 = 0$ коэффициент отражения звукового давления

$R = -1$. Таким образом, снижение шума происходит за счет взаимного погашения падающих и отраженных волн.

Резонансным поглотителем является также перфорированный экран с отверстиями, затянутыми тканью или мелкой сеткой (см. рис. 11.47, *г*), который существенно меняет характер поглощения. Пористые и резонансные поглотители крепят к стенкам изолированных объемов.

Кроме того, звукопоглощение может производиться путем внесения в изолированные объемы штучных звукопоглотителей, изготовленных, например, в виде куба, которые в производственных помещениях чаще всего подвешивают к потолку.

К хорошим звукопоглощающим материалам относят те, которые на среднегеометрических частотах октавных полос 250, 500, 1000, 2000 Гц имеют коэффициент α, равный или превышающий соответственно значения: 0,2; 0,3; 0,4; 0,5.

Обозначив параметры после установки поглощающих материалов значком ^ над буквой, запишем новое значение интенсивности звука в виде

$$\hat{I}_{\text{п}} = I_{\text{н}}(\Phi + \hat{\Phi}'). \qquad (11.87)$$

Так как постоянная изолированного объема $\hat{B} > B$, то в произвольной точке r изолированного объема коэффициент $\hat{\Phi}' < \Phi'$ и новое значение интенсивности звука $\hat{I}_{\text{п}}$ будет меньше значения $I_{\text{п}}$. Разделив соответственно левые и правые части друг на друга, найдем

$$\frac{I_{\text{п}}}{\hat{I}_{\text{п}}} = \left[\frac{\Phi + \Phi'}{\Phi + \hat{\Phi}'}\right]. \qquad (11.88)$$

Следовательно, эффективность звукопоглощения

$$e = L_{I_{\text{п}}} - L_{\hat{I}_{\text{п}}} = 10\lg\left[\frac{\Phi + \Phi'}{\Phi + \hat{\Phi}'}\right]. \qquad (11.89)$$

Так как при коэффициенте $\hat{\alpha} \to 1$ коэффициент $\hat{\Phi}' \to 0$, то максимальная эффективность, которую можно достичь звукопоглощением, равна

$$e_{\max} = 10\lg(1 + \Phi'/\Phi). \qquad (11.90)$$

В это выражение не входит ни один показатель изолированного объема, который характеризовал бы его новые звукопоглощающие свойства. Максимальная эффективность определяется значением параметров изолированного объема до его акустической обработки.

Из принципа непрерывности звукового давления следует, что интенсивность не может претерпевать разрывов и, следовательно, коэффициент Φ' должен изменяться монотонно на отрезке $0 \le r \le R$ или $0 \le r/R \le 1$, где R — расстояние от источника до произвольной точки на ограждающей поверхности, т. е. $\Phi' = \Phi'(r/R)$.

В точке $r = R$ на ограждающей поверхности $\Phi'(1) = S(R)/B$. Учитывая соотношение (11.83), можно из точки $(1, \Phi'(1))$ провести параболу, сопряженную с параболой $\Phi'(r/R) = 4(r/R)^2\Phi'(1)$, и представить коэффициент влияния диффузного поля выражением

$$\Phi'(r/R) = \begin{cases} 4(r/R)^2\,\Phi'(1), \text{ если } 0 \le r/R \le 0{,}25 \\ [1-4(r/R-1)^2/3]\Phi'(1), \text{ если } 0{,}25 \le r/R \le 1. \end{cases} \quad (11.91)$$

Рассмотрим *пример*. Для простоты допустим, что изолированный объем имеет форму сферы, источник расположен в центре сферы: $\Phi = 1$, коэффициент звукопоглощения до проведения акустической обработки равен $\alpha = 0{,}07$.

Используя соотношение (11.81), находим, что на поверхности, ограждающей изолированный объем, $\Phi'(1) = S(R)/B = (1 - \alpha)/\alpha$. Формула (11.90) показывает, что при заданном значении $\alpha = 0{,}07$ применением звукопоглощающих материалов можно добиться максимально возможного снижения уровня интенсивности звука на $e_{max} = 10\lg 1/\alpha \approx 11{,}55$ дБ.

Реальное значение эффективности звукопоглощения будет меньше 11,55 дБ. Например, при $\hat{\alpha} = 0{,}9$ по формуле (11.89) находим $e = 11{,}09$ дБ. Если формулу (11.89) представить в виде двух слагаемых: $e = 10\lg \hat{B}/B + 10\lg[(1 + \Phi/\Phi')/(1 + \Phi/\hat{\Phi}')]$, то получим $e = 20{,}78 - 9{,}69 = 11{,}09$ дБ, т. е. величиной второго слагаемого пренебрегать нельзя.

Используя выражение (11.91), найдем, что в точках $r/R = 0{,}1$; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 значения e_{max} соответственно равны 1,85; 4,95; 8,98; 10,59; 11,32, и при $\hat{\alpha} = 0{,}9$ реальные значения e будут отличаться незначительно: 1,83; 4,88; 8,74; 10,24; 10,91.

Звукоизоляция. *Звукоизоляция* — уменьшение уровня шума с помощью защитного устройства, которое устанавливается между источником и приемником и имеет большую отражающую и (или) поглощающую способность. Обычно роль защитных устройств выполняют глушители шума, экраны или стенки изолированных объемов. Например, защитным устройством является кожух, которым закрывают машины и механизмы, или кабина, в которой находится оператор, управляющий рабочим процессом. Стенки кожухов и кабин изготов-

ляют из листового проката и покрывают изнутри звукопоглощающим материалом. *Эффективность звукоизоляции* с помощью стенки толщиной h можно определить по формуле (11.76). Если пренебречь затуханием звука в материале, т. е. положить в формуле (11.76) коэффициент распространения $\hat{k}_*$, равным jk_2, где $k_2 = \omega/c_2$ — волновое число, то эффективность

$$e = 10\lg[\cos^2 k_2 h + 0{,}25(z_2/z_1 + z_1/z_2)^2 \sin^2 k_2 h], \qquad (11.92)$$

где $z_1 = \rho_1 c_1$ — импеданс воздуха; $z_2 = \rho_2 c_2$ — импеданс материала защитного устройства.

Из выражения (11.92) следует, что эффективность звукоизоляции равна нулю при толщине стенки $h = n\lambda_2/2$, т. е. кратной половине длины волны ($n = 0, 1, 2, ...$), а максимальная эффективность будет иметь место, если толщина стенки $h = (2n + 1)\lambda_2/4$.

Так как для защитного устройства, находящегося в воздухе, всегда выполняется неравенство $\rho_1 c << \rho_2 c_2$, то для тонкой стенки ($h_2 << \lambda_2/2\pi$) из выражения (11.92) находим

$$e = 10\lg[1 + (m\omega/2\rho_1 c_1)^2], \qquad (11.93)$$

где $m = \rho_2 h$ — поверхностная плотность (масса защитного устройства, отнесенная к единице площади).

При достаточно больших частотах единицей в правой части формулы (11.93) можно пренебречь:

$$e = 20\lg\frac{m\omega}{2\rho_1 c_1} = 20\lg(mf) - \text{const}. \qquad (11.94)$$

Как видно из формулы (11.94), единственным свойством защитного устройства, определяющим эффективность звукоизоляции при принятых допущениях, является поверхностная плотность m. Эффективность звукоизоляции растет с увеличением плотности m и частоты f. Константу, входящую в выражение (11.94), определяют, осредняя коэффициент передачи τ по углам падения. Если m и f выражены соответственно в кг/м^2 и Гц, то константа равна 47,5 дБ.

Найдем требуемую эффективность звукоизоляции. По определению

$$e = 10\lg 1/\tau = 10\lg W^+/W^\sim = L_{W+} - L_{W\sim} \qquad (11.95)$$

Перепишем это выражение в виде

$$W^\sim = W^+ 10^{-0{,}1e}, \qquad (11.96)$$

где W^+, $W^{\sim}$ — соответственно падающий на поверхность площадью S^+ и прошедший через эту поверхность поток энергии. Если эффективность звукоизоляции рассчитывается по формуле (11.94), то $10^{-0,1e} = (2\rho_1 c_1/m\omega)^2$. Плотность потока энергии, падающего на ограждающие стенки и другие поверхности, находящиеся в изолированном объеме, в точке R рассматриваемой поверхности равна

$$I^+ = I + I_Д = I_Н\Phi + I_Д, \tag{11.97}$$

где $I_Н = W/4\pi R^2$ — интенсивность источника ненаправленного действия.

Определим сначала вклад прямого звука в поток W^+. Пусть под малым телесным углом $d\Omega'$ из точки O, в которой расположен источник, видны элемент сферической поверхности площадью dS_0 и элемент несферической поверхности площадью dS^+, которые ввиду их малости можно считать плоскими с углом между ними, равным $(\mathbf{N}, \mathbf{R})$, где $\mathbf{N}$-нормаль к площадке dS^+ (рис. 11.48). На элементарные площадки dS_0 и dS^+ падает одинаковый поток энергии, равный $I_Н dS_0 = I_Н\cos(\mathbf{N}, \mathbf{R})dS^+$. При характеристике направленности излучения $D = 1$ вклад прямого звука составит

$$\int_{S^+}\Phi I_Н \cos(\mathbf{N},\mathbf{R})dS^+ = \frac{W\Phi}{4\pi}\int_{S^+}\frac{\cos(\mathbf{N},\mathbf{R})dS^+}{R^2} = \Phi W\frac{\Omega'}{4\pi} = W\frac{\Omega'}{\Omega}, \tag{11.98}$$

где Ω' — телесный угол, под которым из точки O видна поверхность площадью S^+, на которую падает прямой звук; Ω — телесный угол, в который источник мощностью W излучает звук.

Определим теперь вклад отраженного звука. Согласно определению диффузного поля, плотность потока энергии $I_Д$ одинакова во всех направлениях. Поэтому вклад отраженного звука в поток W^+ составит

$$\int_{S^*} I_Д dS^+ = WS^+/B. \tag{11.99}$$

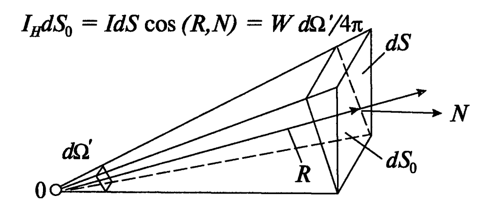


Рис. 11.48. К расчету прямого звука

Таким образом, при мощности источника излучения W суммарный поток энергии, падающий на поверхность площадью S^+, находящуюся в изолированном объеме, равен

$$W^+ = W(\Omega'/\Omega + S^+/B). \qquad (11.100)$$

Выражение (11.96) позволяет определить прошедший через элемент поверхности поток энергии и его уровень:

$$W^{\sim} = W(\Omega'/\Omega + S^+/B)10^{-0,1e}; \qquad (11.101)$$

$$L_{W^{\sim}} = L_W + 10\ \lg(\Omega'/\Omega + S^+/B) - e. \qquad (11.102)$$

Если шум излучается через элемент поверхности, который может рассматриваться как новый точечный источник мощностью $W^{\sim}$, то, подставив значение $W^{\sim}$ в формулу (11.57) вместо W, находят уровень интенсивности источника ненаправленного действия $I_{I_{\text{Н}}}$, что позволяет использовать все ранее полученные соотношения. Требуемую эффективность звукоизоляции определяют из условия (11.78).

Допустим, что шум излучается из изолированного объема в свободное пространство, например на территорию жилой застройки. Считая, что элемент поверхности площадью S^+ является новым источником шума с коэффициентом направленности Ф, из соотношений (11.67) и (11.102) находим, что в точке r жилой застройки уровень интенсивности

$$L_{I(\delta)} = L_W + 10\ \lg(\Omega'/\Omega + S^+/B) + 10\ \lg\Phi + \\ + 10\ \lg S_e/4\pi r^2 - e - e_\delta, \qquad (11.103)$$

где эффективность звукоизоляции e может быть вычислена по формуле (11.94). Если ставится задача определить для точки r требуемую эффективность звукоизоляции, то из неравенства (11.78) и соотношения (11.103) находят ее значение

$$e \geq L_W - L_{\text{доп}} + 10\ \lg(\Omega'/\Omega + S^+/B) + 10\ \lg\Phi + \\ + 10\ \lg S_e/4\pi r^2 - e_\delta. \qquad (11.104)$$

Допустим теперь, что шум излучается из одного изолированного объема в другой через элемент поверхности площадью S^+. Будем обозначать параметры, относящиеся к изолированному объему, в котором расположен источник шума мощностью W, индексом *1*, а параметры, относящиеся к изолированному объему, где расположен приемник,— индексом *2*.

Для точечного источника шума, находящегося в изолированном объеме *1*, образованном стенками кожуха (рис. 11.49, *а*) и излучаемого шум в изолированный объем *2* (например, помещение), имеем

$\Omega = \Omega' = 4\pi$ и $S^+ = S$. По формуле (11.101) определяем прошедший через поверхность S^+ поток энергии: $W^{\sim} = W10^{-0,1e}/\alpha_1$. Рассматривая эту поверхность в качестве источника шума, находим, что интенсивность звука в точке r помещения 2 равна

$$I_{\Pi 2} = \frac{W^{\sim}}{S_2(r)}(\Phi_2 + \Phi_2').$$

Переход к уровням с учетом неравенства (11.78) позволяет записать

$$L_{I_{\Pi 2}} = L_W - 10\ \lg\alpha_1 + 10\ \lg(\Phi_2 + \Phi_2') + 10\ \lg S_e/S_2(r) - e \le L_{доп}.$$

На рис. 11.49, *б* показано помещение *1*, из которого в помещение *2* может проникать шум, при этом через элемент поверхности площадью S^+ поступает поток энергии, который определяется формулой (11.101). Рассматривая эту поверхность как источник шума в помещении *2* и используя формулы (11.101) и (11.102), находим требуемое условие для уровня интенсивности звука:

$$L_{I_{\Pi 2}} = L_W + 10\ \lg(\Omega'/\Omega + S^+/B_1) +$$
$$+ 10\ \lg(\Phi_2 + \Phi_2') + 10\ \lg S_e/S_2(r) - e \le L_{доп},$$

где при данном расположении источника $\Omega = 2\pi$, Ω' — телесный угол, под которым из акустического центра источника шума виден элемент площадью S^+.

На рис. 11.49, *в* показана кабина, защищающая оператора от шума, создаваемого источником в помещении *I*. Будем считать, что для точек r кабины, удаленных от ограждающей поверхности, вклад прямого и отраженного звука приблизительно один и тот же.

Тогда $\Phi_2 = \Phi_2' = 4S_2(r)/B_2$. Следовательно,

$$L_{I_{\Pi 2}} = L_W + 10\ \lg(\Omega'/\Omega + S^+/B_1) + 10\ \lg 8S_e/B_2 - e \le L_{доп},$$

где S^+ и Ω' — соответственно площадь поверхности кабины, через которую может проникать отраженный звук и телесный угол, под которым видна поверхность кабины, на которую падает прямой звук от источника.

При установке экрана между источником и приемником (рис. 11.50) за экраном образуется звуковая тень. Уровень шума в теневой зоне от точечного источника может быть рассчитан на основе законов дифракции. Эффективность звукоизоляции при защите экраном

$$e = 20\ \lg(\sqrt{2\pi N}\ /\text{th}\ \sqrt{2\pi N}) + 5,$$

Рис. 11.49. Схемы снижения шума:

а — изолирующим кожухом; *б* — звукоизолирующей перегородкой; *в* — с помощью звукоизолирующей кабины

где N — число Френеля; $N = \pm 2(a + b - d)/\lambda$ (формула применима при условии $N \geq -0{,}2$). Кроме того, формулу не рекомендуется применять при малых теневых углах θ. Если не выполняется указанное неравенство, то $e = 0$. Расстояние $(a + b)$ складывается из расстояния a от источника до верхней кромки экрана и расстояния от верхней кромки экрана до приемника. Число N берется со знаком минус, если экран расположен ниже визирной линии (расстояние по визирной линии между источником и приемником равно d). Экраны, установленные в производственных помещениях, обычно покрывают с одной или двух сторон поглощающим материалом.

Кожухи и кабины, рассмотренные выше, имеют технологические отверстия (например, отверстия или проходы для воздуха в целях вентиляции), через которые может проникнуть шум. Во время рабочего цикла ряда установок (компрессоров, двигателей внутреннего сгорания, турбин и др.) через специальные отверстия происходит истечение отработавших газов в атмосферу и (или) всасывание воздуха из атмосферы, при этом генерируется сильный шум. В этих случаях для снижения шума используют *глушители*.

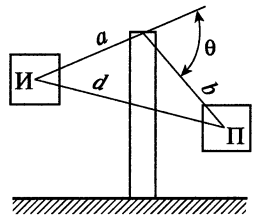


Рис. 11.50. Схема снижения шума экраном

Система глушения шума включает источник шума, обладающий некоторым внутренним им-

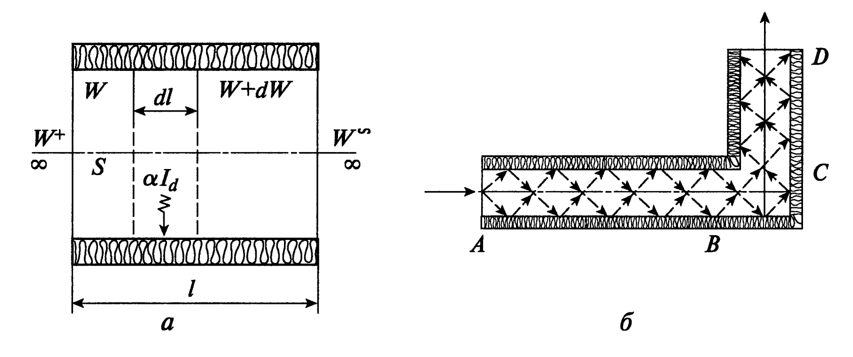


Рис. 11.51. Применение в глушителе поглощающих материалов:
а — схема активного элемента глушителя; *б* — схема снижения шума при повороте трубопровода, покрытого изнутри звукопоглощающим материалом

педансом $z_и$; источник соединен с помощью трубопровода длиной l_1 с глушителем шума, а трубопроводом длиной l_2 — с приемником шума, который характеризуется импедансом излучения $z_п$. Эффективность глушения определяют по формуле (11.95), полагая, что W^+ — усредненная во времени звуковая мощность на входе в глушитель, а $W^{\sim}$ — на выходе. Конструктивно глушители состоят из активных и реактивных шумоглушащих элементов. Простейшим *активным элементом* является любой канал, стенки которого покрыты изнутри звукопоглощающим материалом.

Если звуковая мощность в сечении площадью S (рис. 11.51, *а*) равна W, то плотность потока энергии, падающего на поверхность стенки канала, по формуле (11.69) равна $I_Д = W/4S$. Таким образом, на поверхности канала площадью $P\,\mathrm{d}l$ (где P — периметр) поглощается звуковая мощность $\mathrm{d}W = -\,\alpha I_Д P\,\mathrm{d}l$ и эффективность активного элемента

$$e \approx 1{,}09\alpha Pl/S.$$

Трубопроводы всегда имеют повороты, которые будут снижать шум, если их покрыть звукопоглощающим материалом. Как видно из рис. 11.51, *б*, на участке *AB* существуют преимущественно волны, направленные вдоль оси канала (другие волны будут поглощаться). Изгиб канала будет поглощать или отражать осевые волны назад к источнику. Таким образом, после изгиба останутся преимущественно дифрагированные волны, которые в значительной мере подавляются на участке *CD*, так что в конце этого участка останутся ослабленные волны в направлении оси канала.

Реактивный камерный элемент (рис. 11.52) представляет собой участок канала (трубы), на котором внезапно меняется площадь сече-

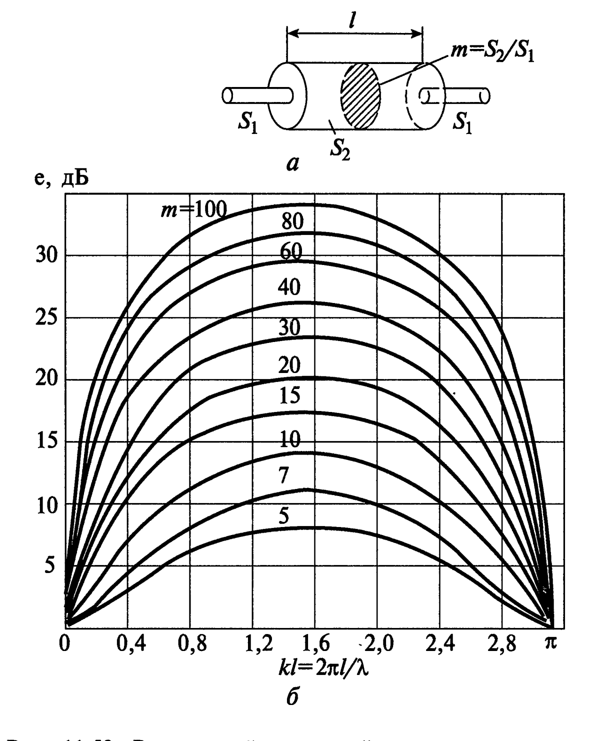


Рис. 11.52. Реактивный камерный элемент глушителя:

а — схема элемента; *б* — зависимость эффективности камерного глушителя от длины камеры и отношения площадей

ния от S_1 до S_2 и образуется камера длиной l. При изменении площади сечения звук отражается. Эффективность камерного элемента можно определить по формуле (11.92), заменив отношение импедансов на отношение площадей [см. формулу (11.76)] и толщину h на длину l камеры $(k_2 = k = \omega/c)$:

$$e = 10\lg[\cos^2 kl + 0{,}25(S_1/S_2 + S_2/S_1)^2 \sin^2 kl].$$

На очень низких частотах, когда $kl \to 0$ или когда длина глушителя равна $\lambda/2$, λ, $3\lambda/2$ и т. д., образуются стоячие волны, которые увеличивают давление на концах камерной полости. В результате импеданс трубопровода с поперечным сечением S_2 также увеличивается от значения $\rho c/S_2$ до значения $m\rho c/S_2$, которое в точности равно импедансам входного и выходного трубопроводов, т. е. равно $\rho c/S_1$. Таким образом, на этих резонансных частотах взаимодействие волн приводит к рассогласованию импедансов и отражению звуковой энергии к

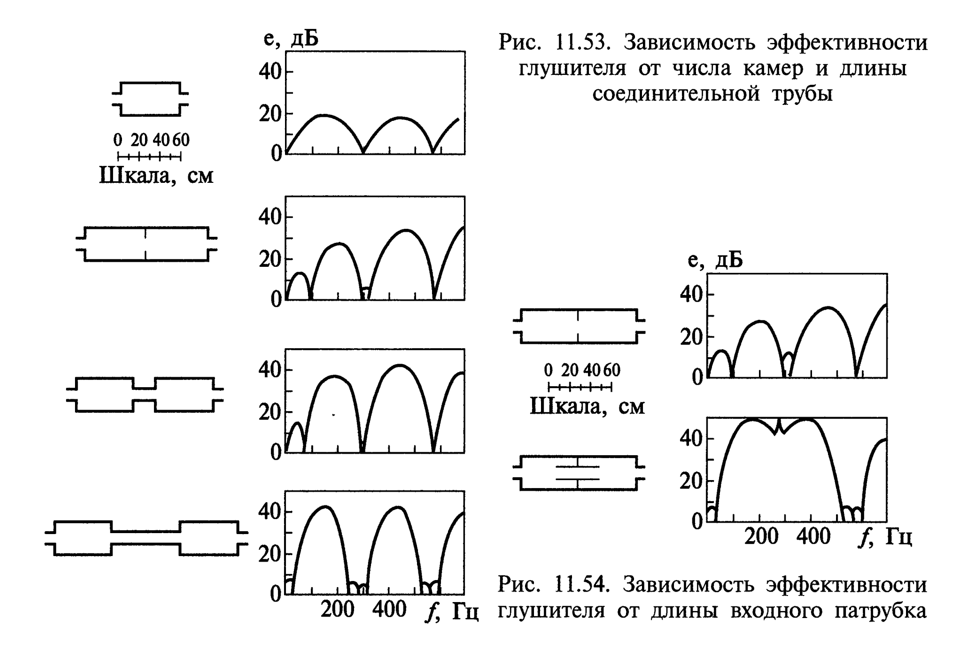


Рис. 11.53. Зависимость эффективности глушителя от числа камер и длины соединительной трубы

Рис. 11.54. Зависимость эффективности глушителя от длины входного патрубка

источнику шума. На более высоких частотах, когда длина волны λ равна или меньше поперечного размера камеры, эффективность будет зависеть от других параметров (теоретически максимум эффективности достигается при разности диаметров $d_2 - d_1 = \lambda/2$, $3\lambda/2$, $5\lambda/2$ и т. д.).

Эффективность *e* растет с увеличением числа камер и длины соединяющей трубы. Однако уже добавление третьей камеры создает незначительный эффект по сравнению с двумя предыдущими (рис. 11.53).

На рис. 11.54 для сравнения показаны эффективность глушителя, состоящего из двух последовательных камер, и эффективность глушителя из двух камер, но со входом или выходом, введенным в полости камер, и оканчивающимися на середине их длины. Эффективность последнего глушителя выше. Изменяя длину входа и выхода, можно варьировать эффективность и частотный диапазон.

Если в спектре шума присутствуют дисперсные составляющие высокого уровня, то эффективность камерных элементов может оказаться недостаточной. В этом случае применяют *реактивные элементы резонаторного типа:* кольцевые и ответвления (рис. 11.55). Такой глушитель отличается от предыдущих тем, что поток газа через камеру не протекает, и она подсоединяется к основному трубопроводу че-

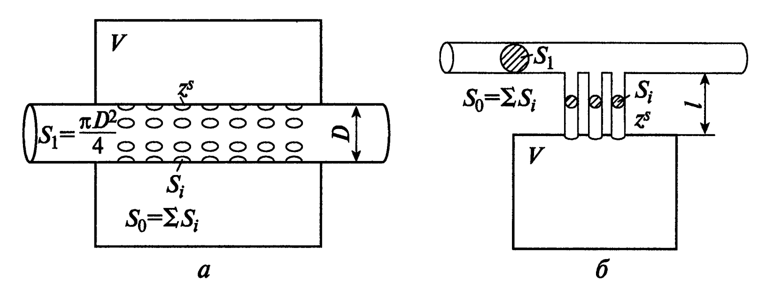


Рис. 11.55. Схемы глушителей резонансного типа:
а — кольцевые; *б* — ответвления

рез одно или некоторое количество небольших отверстий или трубок. Этот тип глушителя называют объемным резонатором или глушителем Гельмгольца. Резонансные частоты определяются размерами отверстий и подсоединенным объемом. Предполагается, что линейные размеры подсоединенного объема меньше 1/10 длины волны на всех рассматриваемых частотах. Если это условие нарушается, то надо принимать во внимание движение волн в резонаторе. Ситуация становится похожей на глушитель, рассмотренный выше. Эффективность объемного глушителя

$$e = 10\lg\{1 + [\alpha + 0{,}25]/[\alpha^2 + \beta^2(f/f_0 - f_0/f)^2]\},$$

где $\alpha = S_1 z^S/S_0\rho c$ — безразмерное активное сопротивление резонатора; $\beta = S_1 c/2\pi f_0 V$ — безразмерное реактивное сопротивление резонатора; S_1 и S_0 — соответственно площадь трубопровода и суммарная площадь отверстий; f_0 — резонансная частота; V — объем резонатора. При резонансе ($f = f_0$) эффективность зависит только от величины α и может быть записана в виде

$$e = 20\lg[(\alpha + 0{,}5)/\alpha].$$

При $\alpha < 0{,}25$ и при частотах, намного больших или меньших частоты f_0,

$$e = 10\lg\{1 + 1/[4\beta^2(f/f_0 - f_0/f)^2]\}.$$

На рис. 11.56 показана эффективность глушителя рассматриваемого типа при $\alpha = 0{,}5\beta$.

Эффективность глушителя, синтезированного из типовых элементов, может быть определена по формуле $e = \sum_i e_i$, где e_i — эффективность i-го шумоглушащего элемента.

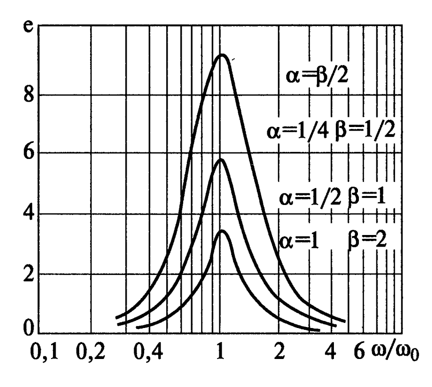


Рис. 11.56. Эффективность резонаторного глушителя при $\alpha = 0{,}5\beta$

Экранирование электромагнитных полей*. Электромагнитное поле имеет *зоны индукции и излучения*, которые для элементарных излучателей (диполей) в воздухе определяются соответственно неравенствами:

$$r \ll \frac{\lambda}{2\pi} \quad (kr \ll 1) \quad \text{и} \quad r \gg \frac{\lambda}{2\pi} \quad (kr \gg 1),$$

где r — расстояние от источника. Обычно считают, что на расстоянии от источника, не большем длины волны,— зона индукции. Например, для частот 10^9 и 10^6 Гц расстояние, которое определяет зону индукции, меньше 0,3 и 300 м.

Для антенн зону излучения обозначают неравенствами: $r > l^2/\lambda$ и $r > 3\lambda$, где l — размер антенны. В зоне излучения поле практически принимает плоскую конфигурацию и распространяется в виде плоской волны, составляющие которой равны:

$$\widetilde{E} = \dot{E}_m e^{j(\omega t - \dot{k}_* x)}; \quad \widetilde{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\dot{\varepsilon}_*}}\,\widetilde{E}, \tag{11.105}$$

где $\dot{\varepsilon}_* = \varepsilon - j\sigma/\omega$ — комплексная диэлектрическая проницаемость среды; ε и μ — абсолютные проницаемости соответственно диэлектрическая и магнитная; σ — удельная проводимость среды; комплексное волновое число $k_* = \omega\sqrt{\mu\dot{\varepsilon}_*}$.

---

* Здесь термин «изоляция» заменен термином «экранирование», который обычно используется в специальной литературе.

Сравнивая выражения (11.54) и (11.105), видим, что импеданс среды электромагнитному полюсу $\dot{z} = \sqrt{\mu / \dot{\varepsilon}_*}$. С учетом формулы (11.105) найдем, что для непроводящей среды ($\sigma = 0$)

$$\dot{k}_* = k = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}; \quad z = z_* \equiv \sqrt{\mu / \varepsilon}; \quad \delta = 0; \tag{11.106}$$

для проводящей среды ($\varepsilon = 0$)

$$\dot{k}_* = \sqrt{-j\omega\mu\sigma}; \quad \dot{z} = \sqrt{j\omega\mu / \sigma}; \quad \delta = \gamma = \sqrt{\omega\mu\sigma / 2}. \tag{11.107}$$

В табл. 11.25 приведены ориентировочные значения волнового числа и импеданса для металлов. Для вакуума импеданс равен $z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120\,\pi$, Ом, где ε_0 и μ_0 — соответственно электрическая и магнитная постоянные: $\varepsilon_0 = 1/(36\pi \cdot 10^9) = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ ф/м, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м. В зоне индукции импеданс среды зависит от источника.

Таблица 11.25. **Характеристика металлов, применяемых для экранирования ЭМП**

Металл	Электрическая проводимость $\sigma \cdot 10^6$, См/м	Магнитная проницаемость μ/μ_0	Коэффициент распространения $\lvert k_*\rvert = \sqrt{\omega\mu\sigma}$, мм	Импеданс $\lvert \dot{z}_*\rvert = \sqrt{\omega\mu / \sigma}$, Ом
Медь	57,1	1	$21{,}2 \cdot 10^{-3}\sqrt{f}$	$0{,}372 \cdot 10^{-6}\sqrt{f}$
Алюминий	34,5	1	$16{,}4 \cdot 10^{-3}\sqrt{f}$	$0{,}478 \cdot 10^{-6}\sqrt{f}$
Сталь	7,2	100	$75{,}4 \cdot 10^{-3}\sqrt{f}$	$10{,}47 \cdot 10^{-6}\sqrt{f}$
Свинец	4,8	1	$6{,}2 \cdot 10^{-3}\sqrt{f}$	$1{,}28 \cdot 10^{-6}\sqrt{f}$

При определении электромагнитного поля сложных источников их разбивают на элементарные, а затем используют принцип суперпозиции полей. Импеданс среды для поля элементарного электрического излучателя

$$\dot{z} = z_*(1 + jkr + 1/jkr)/(1 + jkr). \tag{11.108}$$

Импеданс среды для поля элементарного магнитного излучателя

$$\dot{z} = z_*(1 + jkr)/(1 + jkr + 1/jkr). \tag{11.109}$$

Из выражения (11.108) видно, что вблизи источника, т. е. в зоне индукции ($kr << 1$), импеданс среды преимущественно электрическому полю

$$\dot{z} = z^E \cong z_*/jkr. \tag{11.110}$$

Импеданс среды преимущественно магнитному полю

$$\dot{z} = z^H \cong jkrz_*. \tag{11.111}$$

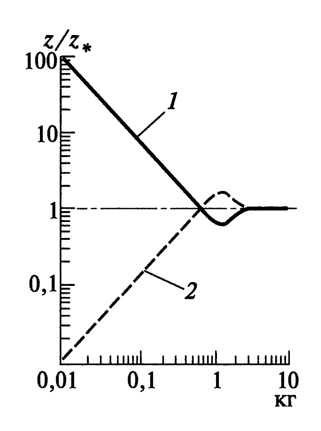


Рис. 11.57. Импеданс среды для элементарных излучателей в зависимости от расстояния от источника:

1 — электрический диполь $\left|\frac{z^E}{z_*}\right| = \frac{1}{1+(kr)^2}\left[\frac{1+(kr)^6}{(kr)^2}\right]^{1/2}$;

2 — магнитный диполь $\left|\frac{z^H}{z_*}\right| = [1+(kr)^2]\left[\frac{(kr)^2}{1+(kr)^6}\right]^{1/2}$

С увеличением расстояния от источника импеданс z^E уменьшается, а импеданс z^H увеличивается (рис. 11.57). Оба импеданса будут стремиться к одному значению, которое они достигают в зоне излучения $(kr >> 1) : z = z^{EH} = z_*$.

Различают экранирование магнитного, электрического и электромагнитного (плоская волна) полей. В большинстве случаев с двух сторон от экрана находится одна и та же диэлектрическая среда — воздух, и *эффективность экранирования,* пользуясь формулой (11.77), можно записать в виде

$$e = 20\lg|\mathrm{ch}\hat{k}_* h| + 20\lg|1 + 0{,}5(\dot{z}_2/\dot{z}_1 + \dot{z}_1/\dot{z}_2)\mathrm{th}\hat{k}_* h|. \quad (11.112)$$

Чтобы произвести расчет по этой формуле, кроме толщины экрана h необходимо знать коэффициент распространения $\hat{k}_*$ и импедансы $\dot{z}_1$ и $\dot{z}_2$. Так как экран обычно изготовляют из металла, то с учетом зависимостей (11.64) и (11.107) коэффициент распространения $\hat{k}_*$ и импеданс z_2 будут равны: $\hat{k}_* = \sqrt{j\omega\mu_2\sigma_2}$; $\dot{z} = \sqrt{j\omega\mu_2/\sigma_2}$. Более сложно определяется импеданс $\dot{z}_1$. В зоне излучения импеданс диэлектрической среды — воздуха — будет равен (для воздуха $\mu \simeq \mu_0$, $\varepsilon \simeq \varepsilon_0$) $z_1 = z^{EH} = \sqrt{\mu_1/\varepsilon_1} \approx \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0} \approx 377$ Ом. Однако в зоне индукции импеданс $\dot{z}_1$ зависит не только от вида основной составляющей электромагнитного поля [см. формулы (11.110) и (11.111)]. Он определяется также формой конструкции экрана (рис. 11.58). С учетом формы импеданс $\dot{z}_1$ при экранировании электрического поля записывают в виде

$$\dot{z}_1 = z_1^E = z_*/jk_1 r_* m = 1/j\omega\varepsilon_1 r_* m, \quad (11.113)$$

а при экранировании магнитного поля в виде

$$\dot{z}_1 = z^H_1 = jk_1r_*mz_* = j\omega\mu_1 r_* m,$$

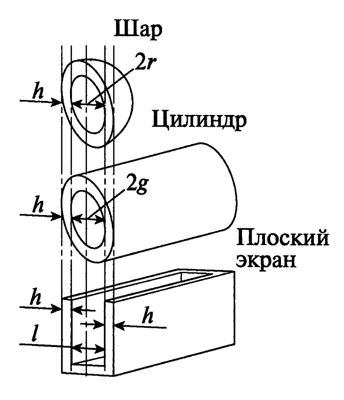


Рис. 11.58. Конструкции экранов

где $m = 2$ при $r_* = l/2$ для плоского экрана; $m = 1$ при $r_* = \rho$ — для цилиндрического экрана; $m = 1/\sqrt{2}$ при $r_* = r$ — для сферического экрана (см. рис. 11.58).

Тогда при $k_*h << 1$, что обычно достигается на низких частотах ($f < 10^4$ Гц), $\mathrm{ch}\hat{k}_*h \approx 1$, а $\mathrm{th}\hat{k}_*h \approx \hat{k}_*h$ и эффективность экранирования электрического поля ($z^E_1/z_2 > z_2/z^H_1$):

$$e \approx 10\lg\left[1+\left(\frac{1}{2m}\frac{\sigma_2}{\omega\varepsilon_1}\frac{h}{r_*}\right)^2\right].$$

Эта эффективность будет большой на низких частотах, а в диапазоне относительно высоких частот $e \to 0$.

При экранировании магнитного поля необходимо учитывать особенности материала, из которого изготовлен экран. Обычно для магнитных металлов (сталь, пермаллой, феррит) $z_2/z^H_1 > z^H_1/z_2$, а для немагнитных металлов (медь, алюминий, свинец) $z^H_1/z_2 > z_2/z^H_1$. Тогда для защитных устройств из магнитных металлов эффективность экранирования $e \approx 20\lg\left[1+\frac{1}{2m}\frac{\mu_2}{\mu_1}\frac{h}{r_*}\right]$. Она не зависит от частоты. Для защитных устройств из немагнитных металлов $e \approx 10\lg\left[1 + \frac{m}{2}\omega\mu_1\sigma_2 r_* h\right]$. Эта эффективность зависит от частоты и при частоте $\omega \to 0$ тоже стремится к нулю.

В области относительно высоких частот ($10^4 < f$, Гц $< 10^9$) эффективность экранирования удобно определять* по формуле

$$e = 8{,}686\sqrt{\frac{\omega\mu_2\sigma_2}{2}}h + 20\lg\left[\frac{1}{4}\sqrt{\frac{\sigma_2}{\omega\mu_2}}|\dot{z}_1|\right].$$

Из соотношения импедансов следует, что амплитудные коэффициенты [формула (11.75)] для плоского $T_п$, цилиндрического $T_ц$ и сфе-

---

* См. выражение (11.77) и комментарий к нему.

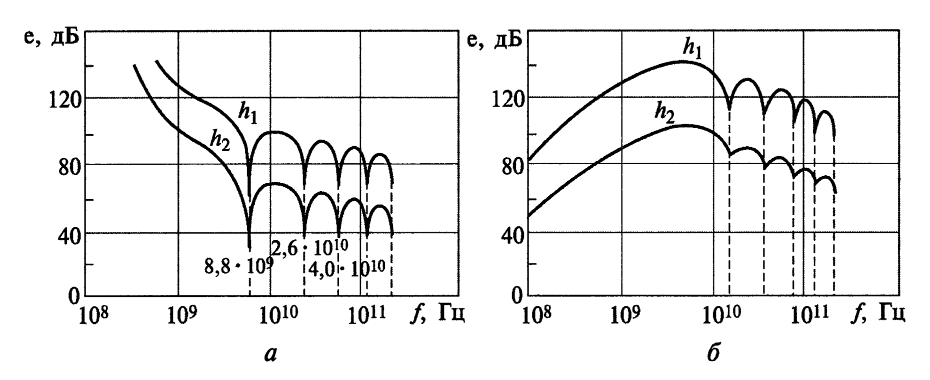


Рис. 11.59. Колебательный характер эффективности экранирования ЭМП в диапазоне СВЧ:

а — электрическое поле; *б* — магнитное поле; $h_1 = 0{,}01$ мм; $h_2 = 0{,}001$ мм; $r = 5$ мм

рического $T_с$ экранов при $z_1 > z_2$ имеют приблизительно следующее соотношение: $T_п : T_ц : T_с = 1 : 2 : 3$. Это соотношение справедливо для экранов, изготовленных из одинакового материала и имеющих равную толщину стенок, причем расстояние между параллельными пластинами плоского экрана равно диаметру сферического или цилиндрического экранов ($l = 2r$ или 2ρ). Таким образом, если эффективность экранирования плоским экраном принять за исходное значение $e_п = 20\lg|1/T_п|$, то эффективность экранирования цилиндром $e_ц = 20\lg|1/T_ц = 20\lg|1/2T_п| = e_п - 20\lg 2 \approx e_п - 6$ дБ, а эффективность экранирования сферой $e_с = e_п - 9{,}5$ дБ. При экранировании магнитного поля магнитными материалами ($z_2 > z_1$) соотношение амплитудных коэффициентов передачи будет иметь обратную закономерность $T_п : T_ц : T_с = 1 : 1/2 : 1/3$. На практике полученными соотношениями пользуются при определении, например, эффективности цилиндрического экрана по формулам плоского.

В области СВЧ, охватывающей дециметровые, сантиметровые и миллиметровые волны ($f \geq 10^9...10^{10}$ Гц), длина волны λ соизмерима с диаметром экрана d, т. е. $\lambda \geq d$, и эффективность экранирования носит колебательный характер (рис. 11.59). В этой области импеданс z_1 при экранировании магнитного и электрического полей цилиндрическим экраном следует определять по формулам:

$$\left.\begin{aligned} z_1^H &= z^{EH} j\pi k_1 \rho J_1(k_1\rho) H_1(k_1\rho), \\ z_1^E &= z^{EH} j\pi k_1 \rho J_1'(k_1\rho) H_1'(k_1\rho), \end{aligned}\right\} \qquad (11.114)$$

где $J_n(u)$ и $H_n(u)$ — функции Бесселя* соответственно первого и третьего рода, порядка n (штрихом отмечены производные). С учетом соотношений (11.94) эффективность экранирования рассчитывают по формуле (11.92), при этом надо иметь в виду, что во многих случаях можно принять $z_1/z_2 << 1$ и пренебречь этим слагаемым.

При наличии в экране для радиоэлектронной аппаратуры отверстий или щелей, возникающих вследствие несовершенства его конструкции и технологии изготовления, среднюю эффективность экранирования можно определить по эмпирической формуле

$$e = 10\lg\left|\frac{\sqrt{2}z_1}{z_2}\right| + A + 8{,}686B\,, \qquad (11.115)$$

где импеданс $z_1 = z_1^E$ при экранировании электрического поля; $z_1 = z_1^H$ при экранировании магнитного поля; импеданс $|\dot{z}_2| = |\sqrt{j\omega\mu_2/\sigma_2}$; слагаемые A и множитель $B = 2\pi h/l$ учитывают негерметичность экрана

$$A = 20\lg\left[\left(\frac{2\pi}{k_1 r_*}\right)^{1/3} \cdot (1 - 0{,}5k_1 l)^6\right],$$

где $r_* \simeq 0{,}62V^{1/3}$ — эквивалентный радиус экрана любой геометрической формы (V — внутренний объем экрана); l — наибольший размер отверстия (щели) в экране; $k_1 = \omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$. Формула (11.115) применима в диапазоне частот, пока $k_1 l < 2$, $l > 0$.

Для защиты от ЭМП обычно применяют металлические листы, которые обеспечивают быстрое затухание поля в материале. Однако во многих случаях экономически выгодно вместо металлического экрана использовать проволочные сетки, фольговые и радиопоглощающие материалы, сотовые решетки.

Эффективность экранирования электрического поля при использовании *проволочных сеток*

$$e = 10\lg|z^E/z| + A + 8{,}686C.$$

---

* Обычную функцию $H_1(u)$ находят по формуле $H_1(u) = J_1(u) + jY(u)$. Чтобы найти производную, можно использовать соотношение: $Q_1'(u) = Q_0(u) - \frac{1}{u}Q_1(u)$, где Q означает любую функцию Y, H или любую их линейную комбинацию.

Здесь слагаемое A означает то же, что в выражении (11.115) ($k_1 l < 2$), а множитель C и величину z при заданном диаметре провода d и шаге s сетки рассчитывают по формулам: $C = \pi d/(s - d)$, $z = 1/\sigma_2 h_*$, где эквивалентная толщина сетки $h_* = \pi d^2/4s$.

В сортамент *фольговых материалов* толщиной 0,01...0,05 мм входят в основном диамагнитные материалы — алюминий, латунь, цинк. Расчет эффективности экранирования фольговых материалов производится по формулам для тонких материалов. При негерметичности эффективность экранирования электрического поля

$$e = 10\lg|z^E/z| + A + 11{,}9,$$

где $z = 1/\sigma h$.

Радиопоглощающие материалы изготовляют в виде эластичных и жестких пенопластов, тонких листов, рыхлой сыпучей массы или заливочных компаундов. В табл. 11.26 приведены характеристики некоторых радиопоглощающих материалов. В последнее время все большее распространение получают керамикометаллические композиции.

Эффективность экранирования *сотовыми решетками* зависит вплоть до сантиметрового диапазона от отношения глубины к ширине ячейки.

Таблица 11.26. **Основные характеристики радиопоглощающих материалов**

Марка поглотителя и материал, лежащий в его основе	Диапазон рабочих волн, см	Отражающая мощность, %	Размер пластины, $м \cdot 10^{-3}$	Масса 1 $м^2$ материала, кг	Толщина материала, мм
СВЧ-068, феррит	15...200	3	100 × 100	18...20	4
«Луч», древесное волокно	15...150	1...3	600 × 1000	—	—
В2Ф2, резина	0,8...4	2	345 × 345	4...5	11...14
В2Ф3 : ВКФ1	0,8...4	4	345 × 345	4...5	(включая высоту шипа)
«Болото», поролон	0,8...100	1...2	—	—	—

Ориентировочно эффективность

$$e \approx 27 l/l_М + 20\lg n,$$

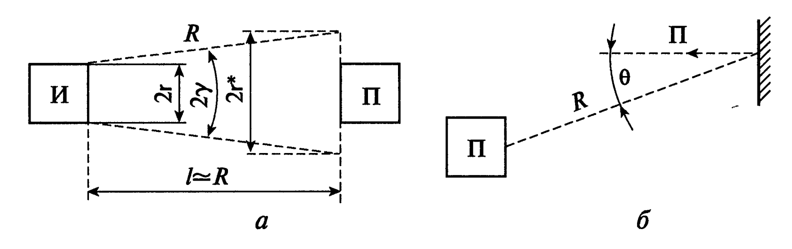


Рис. 11.60. Схема воздействия на роговицу глаза лазерного излучения:
а — прямое облучение; *б* — диффузное излучение

где l и $l_М$ — глубина и максимальный поперечный размер ячейки сотовой решетки; n — число ячеек.

Ослабление лазерного излучения светофильтрами. Если при прямом лазерном облучении невооруженного глаза (рис. 11.60) на поверхность роговицы площадью πr_*^2 приходится энергия ε, то энергетическая экспозиция $H = \varepsilon/\pi r_*^2$. Как видно из рис. 11.60, *а*, расстояние до расчетной точки ввиду малости угла γ $R = (r_* - r)/\gamma$. Поэтому опасное расстояние

$$R = \left(\sqrt{\frac{\varepsilon}{\pi H_*}} - r\right)/\gamma ,$$

где H_* — допустимое нормами значение H для роговицы глаза.

При облучении диффузным излучением, отраженным от площадки, которая характеризуется углом θ (рис. 11.60, *б*) и коэффициентом отражения, опасное расстояние

$$R = \sqrt{\rho\varepsilon\cos\theta / \pi H_*} .$$

При использовании для защиты светофильтра толщиной h коэффициент передачи через светофильтр $\tau = e^{-\delta' h} = 10^{-\delta h}$, где δ' и $\delta = \delta' \ln 10$ — соответственно натуральный и десятичный показатели ослабления. В общем случае показатель ослабления светофильтра зависит от толщины h и спектра излучения. Поэтому при расчете ослабления пользуются оптической плотностью светофильтра $D = \lg 1/\tau$. Она связана с эффективностью защиты соотношением $e = 10\lg k_w = 10\lg 1/\tau = 10D$. Оптическую плотность D рассчитывают в зависимости от характеристик излучения.

11.3.4. Защита от ионизирующих излучений

Если в момент времени t число нераспавшихся атомов радиоактивного источника $N = N(t)$, то за интервал времени dt распадается dN атомов и *активность радионуклида** $A = -\dot{N}$, а постоянная распада $\omega = A/N$. Отсюда следует

$$A(t) = N(t)\omega = N_0\omega e^{-\omega t} = A_0 e^{-\omega t}. \qquad (11.116)$$

Так как масса одного атома равна a/n (где a — атомная масса, а $n = 6{,}022 \cdot 10^{23}$ — число Авогадро), то N атомов имеют массу $M = Na/n$ и, следовательно, активность источника массой M равна

$$A = \omega Mn/a.$$

Из выражения (11.116) видно, что *постоянная распада* ω связана с *полупериодом распада* $T_{1/2}$ ($T_{1/2}$ — время, за которое распадается половина атомов источника: $N(t) = N_0/2$) соотношением $\omega = \ln 2/T_{1/2}$.

Защита от γ-излучения. *Мощность* (поглощенной) *дозы* γ-излучения в воздухе $\dot{D}$ (аГр/с) пропорциональна активности A (Бк) точечного нуклида и обратно пропорциональна квадрату расстояния r (м) от изотропного источника до приемника:

$$\dot{D}(t) = \frac{\Gamma A(t)}{r^2} = \dot{D}_0 e^{-\omega t}, \qquad (11.117)$$

где Г — керма-постоянная, (аГр · м^2)/(с · Бк). Интегрируя выражение (11.117), можно найти дозу в воздухе за некоторый интервал времени T:

$$D = \begin{cases} \dot{D}_0 (1 - e^{-\omega T})/\omega, \\ \dot{D}_0 T \quad \text{при } \omega T \ll 1 \quad (T_{1/2} \gg T). \end{cases} \qquad (11.118)$$

Формулы (11.117) и (11.118) справедливы для расчета полей излучения точечных источников** в непоглощающей и нерассеивающей среде. Они позволяют выбрать такие значения A, r, t, при которых бу-

---

* Здесь и далее приняты следующие обозначения: точка над некоторой величиной $x = x(t)$ обозначает отношение приращения величины x за интервал времени dt к этому интервалу: $\dot{x} = dx/dt$. Через x_0 обозначается значение величины x в начальный момент времени: $x_0 = x(0)$.

** Точечным источником обычно можно считать источник, размеры которого значительно меньше расстояния до приемника и длины свободного пробега в материале источника (можно пренебречь ослаблением излучения в источнике).

дут соблюдаться установленные нормами предельно допустимые уровни излучения. Если соответствие нормам обеспечить нельзя, то между источником и приемником γ-излучения располагают защиту.

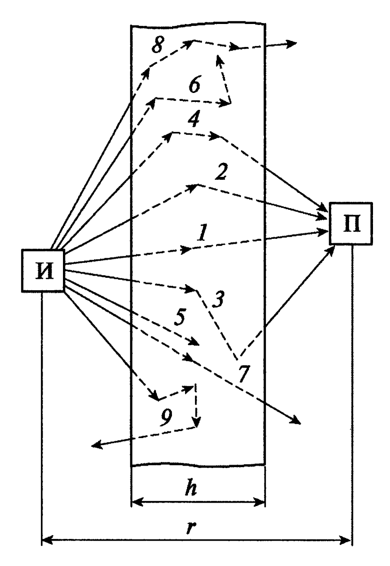


Рис. 11.61. Схема прохождения излучений сквозь защиту

При прохождении излучением защитной среды приемник регистрирует (рис. 11.61) как непровзаимодействовавшие со средой излучение *1*, так и однократно *2* и многократно *3* провзаимодействующее и *4* рассеянное излучение. Излучение *5...9* не достигает приемника: излучение *5, 6* из-за поглощения в среде, излучение *7, 8* из-за направления траектории за защитной средой не на приемник, а излучение *9* — вследствие отражения. В первом приближении расчет защиты можно произвести, учитывая только нерассеянное излучение. Мощность дозы излучения D при установке защитного экрана толщиной h (см. рис. 11.61) претерпевает изменение на расстоянии r по экспоненциальному закону:

$$\dot{D} = \begin{cases} \dot{D}^{+} = \Gamma A / r^{2} & \text{при отсутствии защиты,} \\ \dot{D}^{\sim} = \dot{D}^{+} \mathrm{e}^{-\delta h} & \text{при наличии защиты}^{*}, \end{cases}$$

где δ — *линейный коэффициент ослабления.*

Определяя коэффициент защиты в виде $k_W = \dot{D}^{+} / \dot{D}^{\sim}$, находят *эффективность защиты*

$$\mathrm{e} = 10 \lg k_W = 4{,}34 \delta h.$$

Чтобы учесть рассеянное излучение, мощность поглощенной дозы представляют в виде суммы

$$\dot{D}_{*}^{\sim} = \dot{D}^{\sim} + \Delta \dot{D}^{\sim} = \dot{D}^{\sim} (1 + \Delta \dot{D}^{\sim} / \dot{D}^{\sim}) = \dot{D}^{\sim} B,$$

где $\dot{D}^{\sim}$ и B — соответственно мощность дозы нерассеянного излучения при наличии защиты и некоторая прибавка к этой мощности,

---

* Для случая, когда линия И — П (см. рис. 11.61) нормальна к поверхности защитного устройства (экрана).

учитывающая наличие рассеянного излучения; безразмерная величина $B = (1 + \Delta\dot{D}^{\sim} / \dot{D}^{\sim})$ называется *фактором накопления.* Фактор накопления зависит от всех характеристик источника и защитной среды, в том числе от толщины экрана. Его обычно определяют экспериментально и представляют в виде $B = B(\delta h, \varepsilon, z)$, где ε и z — соответственно энергия γ-квантов и атомный номер защитной среды. В табл. 11.27 приведены значения фактора накопления и линейного коэффициента ослабления для некоторых материалов. С учетом рассеянного излучения коэффициент и эффективность защиты равны:

$$k_W = \dot{D}^{+} / \dot{D}_{*}^{\sim} = e^{\delta h} / B(\delta h, \ \varepsilon, \ z),$$

$$e = 4{,}34 \ \delta h - 10 \ \lg B(\delta h, \ \varepsilon, \ z).$$

В качестве примера вычислим коэффициент и эффективность защиты для свинцового экрана толщиной h = 13 см при работе с точечным радионуклидным источником с энергией квантов в 1 МэВ.

Пользуясь табл. 11.27, определяем, что без учета рассеянного излучения $e = 4{,}34 \cdot 0{,}77 \cdot 13{,}0 = 43{,}4$ дБ ($k_w \approx 2{,}2 \cdot 10^4$), а с учетом рассеянного излучения $e = 43{,}4 - 10 \lg 3{,}74 = 37{,}7$ дБ($k_w \approx 5{,}9 \cdot 10^3$).

Таблица 11.27. **Фактор накопления и линейный коэффициент ослабления некоторых материалов, используемых при защите от излучений**

Материал	ε, МэВ	δ, см$^{-1}$	Дозовый фактор накопления B при δh			
			1	4	10	20
Вода	0,05	0,20	4,42	22,6	90,9	323
	0,50	0,10	2,44	12,8	62,9	252
	1,00	0,07	2,08	7,68	26,1	74,0
	5,00	0,03	1,57	3,16	6,27	11,41
	10,00	0,02	1,37	2,25	3,86	6,38
Алюминий	0,05	0,86	1,70	6,20	12	19
	0,50	0,22	2,37	9,47	38,9	141
	1,00	0,16	2,02	6,57	21,2	58,5
	5,00	0,08	1,48	2,96	6,19	11,9
	10,00	0,06	1,28	2,12	3,96	7,32
Свинец	0,05	82,1	—	—	—	—
	0,50	1,70	1,24	1,69	2,27	2,73
	1,00	0,77	1,37	2,26	3,74	5,86
	5,10	0,48	1,21	2,08	5,55	23,6
	10,00	0,55	1,11	1,58	4,34	39,2

Защита от нейтронного излучения. Пространственное распределение плотности потока (мощности дозы) нейтронов в большинстве случаев можно описать экспериментальной зависимостью $\varphi = \varphi_0 e^{-\delta h}$. В расчетах вместо линейного коэффициента ослабления δ часто используют *массовый коэффициент ослабления* $\delta_* = \delta/\rho$, где ρ — плотность защитной среды. Тогда произведение δh может быть представлено в виде $\delta h = \delta_* \cdot (\rho h) = \delta_* m_*$, где m_* — поверхностная плотность экрана. С учетом этого

$$\varphi = \varphi_0 e^{-h/L} = \varphi_0 e^{-m_*/L_*}, \tag{11.119}$$

где L и L_* — соответственно линейная и массовая длина релаксации нейтронов в среде. На длине релаксации, т. е. при $h = L$ или при $m_* = L_*$, плотность потока (мощность дозы) нейтронов ослабляется в e раз ($k_W = e$). Некоторые значения m_* и L_* для разных защитных сред даны в табл. 11.28.

Таблица 11.28. **Длины релаксации нейтронов в среде в зависимости от среды и энергии нейтронов**

Среда	ε = 4 МэВ			ε = 14...15 МэВ		
	m_*, г/см^2	L_*, г/см^2	θ	m_*, г/см^2	L_*, г/см^2	θ
Вода	90	6,2	5,4	120	14,2	3,0
Углерод	118	19	1,4	118	32,9	1,3
Железо	350	59,5	4,9	430	64,2	2,7
Свинец	565	169	4,0	620	173	2,9

Так как длина релаксации зависит от толщины защиты, плотность потока (мощность дозы) нейтронов обычно определяют по формуле

$$\varphi = \varphi_0 e^{-\sum_{i=1}^{n} \Delta h_i / L_i}, \tag{11.120}$$

где Δh_i и n — соответственно толщина i-го слоя защиты, при которой длина релаксации может быть принята постоянной, равной L_i, и число слоев, на которые разбита защита.

На начальном участке толщиной (2...3)L закон ослабления может отличаться от экспоненциального, что учитывается коэффициентом θ (см. табл. 11.28), на который умножаются правые части соотношений 11.119 и 11.120.

При проектировании защиты от нейтронного излучения необходимо учитывать, что процесс поглощения эффективен для тепловых, медленных и резонансных нейтронов, поэтому быстрые нейтроны должны быть предварительно замедлены. Тяжелые материалы хорошо ослабляют быстрые нейтроны. Промежуточные нейтроны эффективнее ослаблять водородсодержащими веществами. Это означает, что следует искать такую комбинацию тяжелых и водородсодержащих веществ, которые давали бы наибольшую эффективность (например, используют комбинации H_2O + Fe, H_2O + Pb).

Защита от заряженных частиц. Для защиты от α- и β-частиц излучения достаточно иметь толщину экрана, удовлетворяющую неравенству $h > R_i$, где R_i — максимальная длина пробега α ($i = \alpha$) или β ($i = \beta$) частиц в материале экрана. Длину пробега рассчитывают по эмпирическим формулам. Пробег R_α-частиц (см) при энергии ε = 3...7 МэВ и плотности материала экрана ρ (г/см^3)

$$R_\alpha \begin{cases} 10^{-4}\varepsilon^{3/2}\rho a^{1/2} & \text{в среде, отличной от воздуха;} \\ 0{,}318\varepsilon^{3/2} & \text{в воздухе.} \end{cases}$$

Максимальный пробег β-частиц

$$R_\beta = \begin{cases} 2{,}5\varepsilon & \text{в экране из алюминия;} \\ 450\varepsilon & \text{в воздухе.} \end{cases}$$

Обычной слой воздуха в 10 см, тонкая фольга, одежда полностью экранируют α-частицы, а экран из алюминия, плексигласа, стекла толщиной несколько миллиметров полностью экранируют поток β-частиц. Однако при энергии β-частиц $\varepsilon > 2$ МэВ существенную роль начинает играть тормозное излучение, которое требует более усиленной защиты.

Контрольные вопросы к главе 11

1. Какие принципы заложены в формирование понятия системы ЧМС?

2. Какие цели достигаются в процессе анализа опасностей?

3. Из каких элементов состоит и как функционирует система управления опасностями?

4. Как классифицируют ЧП?

5. Как на практике рассчитывают вероятность несчастного случая при аварии?

6. Какие основные методы качественного анализа опасностей используют на практике?

7. Чем отличается анализ опасностей с помощью дерева причин от анализа опасностей с помощью дерева последствий?

8. Какими соотношениями описывают систему ЧМС при количественном анализе опасностей?

9. Что представляет собой и как рассчитываются подсистемы ИЛИ-И и И-ИЛИ?

10. Какие соотношения используют для определения и расчета риска и как проводят его ранжирование?

11. Назовите область применения Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, Госгортехнадзора РФ.

12. Надо ли регистрировать в Госгортехнадзоре сосуд емкостью 20 л с давлением 100 МПа?

13. Каковы причины разрушения и разгерметизации систем повышенного давления?

14. Что находится в трубопроводе желтого цвета с красными кольцами?

15. Какое должно быть пробное давление при гидравлических испытаниях литой емкости, работающей под давлением 100 МПа в цехе с нормальным микроклиматом?

16. Назовите контрольно-измерительные приборы и средства защиты, применяемые при эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

17. Какие вы знаете средства защиты от механического травмирования?

18. Какие помещения относятся к особо опасным по электрической опасности?

19. Зачем предусматривается повторное заземление нулевого проводника в системах зануления электроустановок?

20. Что относится к основным электроизолирующим средствам в электроустановках?

21. Какие принципы и методы защиты можно сформулировать на базе обобщенного защитного устройства и как оценить ее эффективность?

22. Какими физическими величинами и уровнями при организации защиты характеризуют свободные и диффузные волновые поля?

23. Как рассчитывают коэффициенты отражения и передачи защитных устройств конечной и бесконечной толщины?

24. Назовите методы защиты от вибраций и шума.

25. Назовите методы защиты от электромагнитных полей, как определяется при этом эффективность защиты?

26. Какие методы защиты от ионизирующих излучений и частиц существуют и как определяется при этом эффективность защиты?

27. Как с помощью светофильтров ослабляют лазерное излучение и оценивают величину ослабления?

28. Какие материалы применяют при защите от шума и электромагнитных полей?

Глава 12

ЗАЩИТА ОТ ОПАСНОСТЕЙ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

12.1. ИСТОЧНИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ МИРНОГО И ВОЕННОГО ВРЕМЕНИ

Чрезвычайно высокие потоки негативных воздействий создают чрезвычайные ситуации (ЧС), которые изменяют комфортное или допустимое состояние среды обитания и переводят жизнедеятельность в качественно иное состояние — состояние взаимодействия человека со средой обитания *в условиях высокой травмоопасности или гибели*. Переход в ЧС принципиально меняет приоритеты задач обеспечения жизнедеятельности: вместо задач, обеспечивающих непревышение допустимых уровней негативного воздействия и задач снижения риска воздействия опасностей, на первое место выходят задачи защиты от чрезвычайно высоких уровней негативного воздействия, ликвидации последствий ЧС, реабилитации пострадавших в ЧС и восстановления повседневной жизнедеятельности.

Чрезвычайные ситуации могут быть классифицированы по значительному числу признаков, по типам и видам событий, лежащих в основе этих ситуаций, по масштабу распространения, по сложности обстановки, тяжести последствий.

Правительство Российской Федерации своим постановлением № 1094 от 13 сентября 1996 г. утвердило положение о классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. ЧС классифицируются в зависимости от количества людей, пострадавших в этих ситуациях, или людей, у которых оказались нарушены условия жизнедеятельности, размеры материального ущерба, а также границы зон распространения поражающих факторов чрезвычайных ситуаций.

Чрезвычайные ситуации подразделяются на локальные, местные, территориальные, региональные, федеральные и трансграничные.

К локальной относится ЧС, в результате которой пострадало не более 10 человек, либо нарушены условия жизнедеятельности не более 100 человек, либо материальный ущерб составляет не более 1 тыс. минимальных размеров оплаты труда на день возникновения чрезвычайной ситуации и зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории объекта производственного или социального назначения.

К местной относится ЧС, в результате которой пострадало свыше 10, но не более 50 человек, либо нарушены условия жизнедеятельно-

сти свыше 100, но не более 300 человек, либо материальный ущерб составляет свыше 1 тыс., но не более 5 тыс. минимальных размеров оплаты труда на день возникновения чрезвычайной ситуации и зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы населенного пункта, города, района.

К территориальной относится ЧС, в результате которой пострадало от 50 до 500 человек, либо нарушены условия жизнедеятельности от 300 до 500 человек, либо материальный ущерб составил от 5 тыс. до 0,5 млн минимальных размеров оплаты труда и зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы субъекта Российской Федерации.

К региональной и федеральной соответственно относятся ЧС, в результате которой пострадало от 50 до 500 и более человек, либо нарушены условия жизнедеятельности от 500 до 1000 и свыше человек, либо материальный ущерб составляет от 0,5 до 5 млн и свыше минимальных размеров оплаты труда и зона чрезвычайной ситуации охватывает территорию двух субъектов РФ или выходит за их пределы.

К трансграничной относится ЧС, поражающие факторы которой выходят за пределы РФ или ЧС, которая произошла за рубежом и затрагивает территорию РФ.

Источником ЧС техногенного происхождения являются аварии на промышленных объектах. Под промышленным объектом как источником ЧС понимают также объекты транспортные, хозяйственные, административные и другие, если они относятся к категории опасных.

Закон РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (1997) вводит понятие *опасного производственного объекта.* К опасным отнесены объекты, на которых осуществляется использование:

токсичных веществ с уровнем средней смертельной концентрации в воздухе менее 0,5 мг/л;

оборудования, работающего с высоким избыточным давлением ($\Delta P > 0{,}07$ МПа);

взрывчатых и горючих веществ;

веществ, образующих с воздухом взрывоопасные смеси;

оборудования, работающего при больших температурах или при температуре нагрева воды более 115°С и другие объекты.

Вероятность возникновения ЧС на таких объектах необходимо учитывать как при его проектировании, так и на всех стадиях последующей эксплуатации.

С целью осуществления контроля за соблюдением мер безопасности, оценки достаточности и эффективности мероприятий по пре-

дупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах Правительство Российской Федерации постановлением от 1 июля 1995 г. № 675 «О декларации безопасности промышленного объекта Российской Федерации» ввело для предприятий, учреждений, организаций и других юридических лиц всех форм собственности, имеющих в своем составе производства повышенной опасности, обязательную разработку **декларации промышленной безопасности.** Приказом МЧС России и Госгортехнадзора России от 4 апреля 1996 г. № 222/59 введен в действие «Порядок разработки декларации безопасности промышленного объекта Российской Федерации».

Декларация безопасности промышленного объекта является документом, в котором отражены характер и масштабы опасностей на промышленном объекте и выработанные мероприятия по обеспечению промышленной безопасности и готовности к действиям в техногенных чрезвычайных ситуациях. Декларация разрабатывается как для действующих, так и для проектируемых предприятий.

Как итоговый документ декларация безопасности включает следующие разделы: общая информация об объекте; анализ опасности промышленного объекта; обеспечение готовности промышленного объекта к локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций; информирование общественности; и приложения, включающие ситуационный план объекта и информационный лист.

Декларация безопасности действующего промышленного объекта с особо опасными производствами является обязательным документом, который разрабатывается организацией собственными силами (или организацией, имеющей лицензию на такой вид работ) и представляется в органы Госгортехнадзора России при получении лицензии на осуществление промышленной деятельности, связанной с повышенной опасностью производств.

Опыт показывает, что ЧС на промышленных объектах в своем развитии проходят пять условных типовых фаз:

первая — накопление отклонений от нормального состояния или процесса; фаза относительно длительная по времени, что дает возможность принятия мер для изменения или остановки производственного процесса и существенно снижает вероятность аварии и последующей ЧС;

вторая — фаза инициирующего события или фаза «аварийной ситуации»; фаза значительно короче по времени, хотя в ряде случаев еще может существовать реальная возможность либо предотвратить аварию, либо уменьшить масштабы ЧС;

третья — процесс чрезвычайного события, во время которого происходит непосредственное воздействие на людей, объекты и природную среду первичных поражающих факторов; при аварии на производстве в этот период происходит высвобождение энергии, которое может носить разрушительный характер; при этом масштабы последствий и характер протекания аварии в значительной степени определяются не начальным событием, а структурой предприятия и используемой на нем технологией; эта особенность затрудняет прогнозирование развития наступившего бедствия;

четвертая — фаза действия остаточных и вторичных поражающих факторов;

пятая — фаза ликвидации последствий ЧС.

ЧС военного времени могут возникать при применении оружия массового поражения (ОМП). Массовым поражением обладают ядерное, химическое и бактериологическое оружие. К ним можно отнести и разрабатываемые новые принципы воздействия — инфразвуковое, лучевое и др.

Ядерное оружие. К наиболее мощным средствам ОМП относится ядерное оружие, состоящее из ядерных боеприпасов (авиационные бомбы, артиллерийские снаряды, боевые части ракет, морских торпед, глубинные бомбы и мины), средств доставки (носителей) и средств управления. При ядерном взрыве выделяется огромное количество энергии, образующейся при цепной реакции деления тяжелых ядер некоторых изотопов урана и плутония или термоядерной реакции синтеза легких ядер изотопов водорода (дейтерия, трития). Мощность ядерного боеприпаса (мощность ядерного взрыва) принято характеризовать тротиловым эквивалентом. Тротиловый эквивалент — это масса тротила (тротил — вещество с теплотой взрыва 4240 кДж/кг), при взрыве которой выделяется столько же энергии, что и при взрыве ядерного боеприпаса.

При любом ядерном взрыве можно выделить четыре основных поражающих фактора: *механическое воздействие воздушной ударной волны (ВУВ), механическое воздействие сейсмических волн в грунте или водной среде, радиационное воздействие проникающей радиации и радиоактивного заражения, тепловое воздействие светового излучения.* Для некоторых элементов объектов поражающим фактором может являться *электромагнитное излучение* (импульс) ядерного взрыва.

Механизм воздействия ВУВ на объекты при ядерном взрыве и при взрывах обычных ВВ практически одинаковы. Однако образующиеся при ядерном взрыве воронки и волны сжатия в грунте имеют значительно большие размеры и масштабы по сравнению со взрывами обычных ВВ.

Вокруг эпицентра взрыва условно можно выделить три характерные зоны. В первой зоне наблюдается разрушение практически всех сооружений, это зона воронки ядерного взрыва, радиус которой изменяется от 175 до 1340 м при изменении мощности взрыва от 0,1 до 10 Мт. Вторая зона характеризуется наличием пластических деформаций грунта, а ее радиус может составлять до 2,5 радиуса самой воронки. В этой области наиболее опасным для заглубленных сооружений является действие прямых ударных волн и волн сжатия (сейсмовзрывных волн). Третья зона располагается за пределами зоны пластической деформации и характеризуется наиболее существенным влиянием волн сжатия, инициируемых воздушной ударной волной. Данные о размерах зон, образующихся при ядерных взрывах, представлены ниже:

Тротиловый эквивалент ядерного взрыва, кг	Радиус зоны, км	
	I	*II*
20	1,2	1,8
100	1,65	2,25
1000	2,4	3,2
5000	3,0	3,8
10 000	3,4	4,5

Химическое оружие. Под химическим оружием понимают совокупность отравляющих веществ (ОВ) и средства, с помощью которых их применяют. Химическое оружие предназначено для поражения незащищенных людей и животных путем заражения воздуха, продовольствия, кормов, воды, местности и расположенных на ней предметов.

В момент применения отравляющие вещества переходят из жидкого или твердого состояния в капельно-жидкое, газообразное, парообразное или аэрозольное (туман, дым) и могут распространяться на значительные расстояния от места применения химического оружия. Они способны проникать вместе с воздухом в жилые и производственные помещения, а также в защитные сооружения, не имеющие герметизации, и воздействовать на находящихся в них людей.

Отравляющие вещества поражают живые организмы при попадании на кожный покров и в глаза, при вдыхании зараженного воздуха; употреблении зараженной пищи и воды. Критериями боевой эффективности отравляющих веществ являются их токсичность, быстродействие и стойкость.

Токсичность отравляющих веществ определяется их способностью оказывать отравляющее действие. *Быстродействие* определяет-

ся временем от момента контакта с отравляющим веществом до проявления первых признаков отравления. В зависимости от полученной дозы отравляющего вещества поражение организма может развиваться в виде лавинообразного молниеносного процесса с летальным исходом за считанные секунды или в форме тяжелого прогрессирующего патологического процесса.

Стойкость отравляющих веществ характеризует их способность сохранять поражающее действие в течение определенного времени после применения. Все отравляющие вещества условно подразделяют на стойкие и нестойкие. Время сохранения поражающих свойств для стойких веществ составляет от нескольких дней до нескольких недель, в то время как нестойкие вещества сохраняют свое поражающее действие в течение нескольких минут.

Применение химического оружия приводит к образованию на местности *зоны заражения.* Зона заражения включает территории, непосредственно подвергшиеся воздействию химического оружия (районы применения), и территории, на которые распространилось облако, зараженное отравляющими веществами.

Территория, на которой в результате воздействия химического оружия противника произошли массовые поражения людей, животных и растений, называется *очагом химического поражения.*

Размеры и конфигурация зон химического заражения зависят от типа отравляющего вещества, вида средства доставки, состояния атмосферы, метеорологических условий и рельефа местности.

Бактериологическое (биологическое) оружие. Оно представляет собой болезнетворные микробы и токсины, предназначенные для поражения людей, животных, растений и запасов продовольствия.

Поражающая сила биологического оружия зависит от целого ряда фактора: биологических свойств примененного возбудителя, условий жизни людей, иммунитета населения, уровня санитарной культуры населения, состояния лечебно-профилактической и санитарно-противоэпидемиологической работы, от времени года и многих других факторов.

Установить факт применения биологических средств поражения, а также быстро и точно определить возбудителя весьма сложно. В настоящее время еще нет приборов, позволяющих регистрировать начало применения биологического оружия.

Зона бактериологического заражения — это район местности (акватории) или область воздушного пространства, зараженные биологическими возбудителями заболеваний в опасных для населения пределах.

Очагом бактериологического поражения называется территория, на которой в результате воздействия бактериологического оружия произошли массовые поражения людей, сельскохозяйственных животных, растений.

12.2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ ПРИ ЧС

Методики прогнозирования параметров ЧС разрабатываются для типовых сценариев развития аварий на опасных производственных объектах, для ЧС природного происхождения (прогноз сейсмической обстановки, прогноз параметров волны прорыва при наводнениях и др.), для ЧС военного происхождения на территориях, прилегающих к районам боевых действий и в тылу.

Рассмотрим основные виды ЧС техногенного происхождения и методы оценки их параметров.

Аварийно химически опасные вещества, химически опасные объекты, зоны химического заражения при ЧС. Из большого числа вредных веществ, в том числе производимых и используемых в промышленности (см. п. 6.2), лишь сравнительно небольшая часть может быть отнесена к опасным и тем более к тем, которые могут привести к ЧС различного масштаба. Критерием для отнесения химического вещества к опасным служит уровень средней смертельной дозы. В настоящее время в соответствии с законом РФ «О безопасности в промышленности» (1997) к ним относят 179 наиболее опасных веществ, используемых в промышленности. Из этих веществ в зависимости от их свойств выделены вещества, которые при несоблюдении норм безопасности или нарушении штатных технологий могут заразить окружающую среду с поражающими концентрациями, стать причиной массового поражения людей, привести к чрезвычайной ситуации. Такие вещества получили название *аварийно химически опасных* (АХОВ).

К АХОВ, например, отнесены:

- аммиак, окислы азота, диметиламин, сероводород, сероуглерод, сернистый ангидрид, соляная кислота, синильная кислота, формальдегид, фосген, фтор, хлор, хлорпикрин, окись этилена, метилизоцианат, диоксин, метиловый спирт, фенол, бензол, анилин, металлическая ртуть и др.;
- компоненты ракетных топлив: несимметричный диметилгидразин, жидкая четырехокись азота и др.;
- отравляющие вещества боевого применения: иприт, люизит, зарин, зоман, Ви-газы и др.

Крупными запасами АХОВ располагают предприятия химической, целлюлозно-бумажной, нефтехимической, металлургической промышленности, предприятия по производству минеральных удобрений, предприятия агропромышленного комплекса, жилищно-коммунальные хозяйства.

Химически опасным объектом (ХОО) называется объект, при аварии или разрушении которого могут произойти массовые поражения людей и загрязнения окружающей среды аварийно химически опасными веществами. Из числа АХОВ, используемых на химически опасных объектах в больших количествах, наиболее распространенными являются хлор, аммиак, сероводород, сероуглерод, сернистый ангидрид, диметиламин, азотная и серная кислоты и др. Их ежемоментные запасы на отдельном ХОО могут составлять десятки, сотни и тысячи тонн.

Развитие аварийных процессов на ХОО и масштабы возможных ЧС в большой мере зависят от способа хранения АХОВ. Такие вещества, как хлор, аммиак, сероводород, фтор и целый ряд других, имеют низкие температуры кипения, в силу чего при нормальных окружающих температурах находятся в газообразном агрегатном состоянии. Поскольку в таком состоянии они занимают большие объемы, не приемлемые в производственных условиях, то для их хранения и транспортировки используются способы хранения, позволяющие сократить объем резервуаров.

Наиболее эффективным способом хранения является сжижение газов, при котором объем хранения уменьшается в 800—1000 раз.

Для хранения веществ в виде жидкости используются два основных способа. Первый способ — хранение под давлением, при котором температура кипения вещества повышается выше температуры окружающей среды. (Например, $t_{кип}$ аммиака при нормальном давлении – 33,4°С, при давлении 10 атм + 28°С, при давлении 20 атм 50°С.) Недостатком способа является то, что низкокипящие жидкости при высоких температурах находятся в перегретом состоянии и при разгерметизации емкости начинают бурно кипеть. В зависимости от энергии перегрева содержимое резервуара в течение 1—3 мин может выкипеть полностью, образуя в окружающем пространстве *первичное* зараженное облако. При недостатке энергии для выкипания всего вещества остающаяся жидкость растекается по подстилающей поверхности и испаряется более медленно, образуя *вторичное* зараженное облако.

Вторым способом хранения вещества в сжиженном состоянии является изотермическое хранение при температурах на 0,1—0,2°С ниже температуры кипения вещества при нормальном давлении.

Хранение осуществляется в двустенных резервуарах с теплоизоляцией. Недостатком способа является необходимость создания систем понижения температуры и дренажа испарившегося вещества. При разгерметизации изотермического хранилища в первичное облако переходит незначительное количество вещества.

Оба способа используются для хранения веществ с температурами кипения до – 40 ÷ – 50°С. Для веществ с более низкими температурами кипения (сероводород – 60,3°С, фтор – 188,2°С и др.) затруднительно создать резервуары с необходимыми параметрами, поэтому при их хранении ограничиваются частичным сжатием, при котором вещество хранится в виде газа, но занимает меньший объем. При разгерметизации емкости с веществом, хранящимся в виде газа под давлением, образуется только первичное облако.

Возможность образования при аварии на ХОО первичного и (или) вторичного облака учитывается при определении категории опасности ХОО.

При авариях на ХОО поражение людей химическими веществами происходит в основном при вдыхании зараженного воздуха (ингаляционно), при попадании АХОВ на кожу (кожно-резорбтивное), при употреблении в пищу зараженных продуктов и воды (пероральное), поэтому АХОВ в зависимости от способа проникновения в организм человека подразделяются на вещества ингаляционного, перорального и кожно-резорбтивного действия. Степень и характер нарушений жизнедеятельности человека (степень поражения) при воздействии АХОВ зависят от токсичности АХОВ, его агрегатного состояния, концентрации в воздухе (воде), продолжительности воздействия, путей проникновения в организм и индивидуальных особенностей организма человека.

Дозы АХОВ, проникающие в организм и вызывающие токсический эффект, называются токсодозами. Различают пороговую, выводящую из строя, и смертельную токсодозы (средние или абсолютные). Средняя пороговая ингаляционная токсодоза является критерием при определении внешних границ зон заражения и зон ЧС.

Для определения размеров зон заражения вначале прогнозируется возможное количество АХОВ, вышедшего в окружающую среду при аварии. Приближенно количество АХОВ, переходящего при разгерметизации в первичное облако, можно определить по удельной энтальпии вещества H_T при температуре и в точке кипения при атмосферном давлении H_x и теплоте парообразования r:

$$m = (H_T - H_x)/r.$$

На втором этапе расчетов необходимо с учетом рельефа местности, климатических условий, планировки оцениваемой площади застройки рассчитать процессы растекания и испарения жидкости. Результатом такого расчета должны быть нанесенные на ситуационный план поля концентраций паров пролитой жидкости зоны перемещения зараженного облака. На плане отмечают также динамику процесса рассеивания паров во времени. (Порядок расчета рассеивания газообразных веществ в атмосфере см. ОНД—86.) Порядок расчета размеров зон заражения приведен в [1].

Пожары: физико-химические основы, параметры.

Пожар — это неконтролируемое горение вне специального очага. Оно представляет собой сложный физико-химический процесс превращения горючих веществ и материалов в продукты сгорания, сопровождаемый интенсивным выделением тепла и светового излучения.

В основе горения лежат быстротекущие химические реакции окисления сгораемых материалов кислородом воздуха, в первую очередь углерода с образованием CO_2 и водорода с образованием H_2O.

Различают два основных вида горения: гомогенное и гетерогенное.

При гомогенном (пламенном) горении окислитель и горючее находятся в газовой фазе. Гомогенное горение имеет место при сгорании горючего газа или газовых сред, образующихся при испарении горючих жидкостей или при плавлении, разложении, испарении или выделении газообразных фракций в результате нагрева твердых веществ. Полученная любым из этих превращений газообразная среда смешивается с воздухом и горит.

При гетерогенном (беспламенном) горении горючее находится в твердом состоянии, а окислитель — в газообразном. Процесс горения происходит в твердой фазе и проявляется в покраснении твердого вещества в результате экзотермических реакций окисления.

На пожарах роль окислителя при горении чаще всего выполняет кислород воздуха, окружающего зону протекания химических реакций, поэтому интенсивность горения определяется не скоростью протекания этих реакций, а скоростью поступления кислорода из окружающей среды в зону горения.

В пространстве, в котором развивается пожар, условно рассматривают три зоны: горения, теплового воздействия и задымления.

Зоной горения называется часть пространства, в которой происходит подготовка горючих веществ к горению (подогрев, испарение, разложение) и их горение.

Зоной теплового воздействия называется часть пространства, примыкающая к зоне горения, в которой тепловое воздействие пламени

приводит к заметному изменению состояния окружающих материалов и конструкций и делает невозможным пребывание в ней людей без средств специальной защиты.

Зоной задымления называется часть пространства, в которой от дыма создается угроза жизни и здоровью людей.

К основным параметрам пожара относятся пожарная нагрузка, массовая скорость выгорания, скорость распространения пожара, температура пожара, интенсивность выделения теплоты и др.

Пожарная нагрузка характеризует энергетический потенциал сгораемых материалов, приходящийся на единицу площади пола или участка земли. Она измеряется в единицах энергии или единицах массы сгораемых материалов (в пересчете на древесину) на единице площади — Дж/м^2, кг/м^2. Пересчет на древесину осуществляется исходя из того, что при сгорании 1 кг древесины в среднем выделяется 18,8 МДж энергии.

Массовая скорость выгорания — потеря массы горючего материала в единицу времени. Она зависит от отношения площади поверхности горения веществ к их объему, плотности упаковки, условий газообмена и других причин. Например, скорость выгорания мебели — 50, бревен и крупных деревянных элементов —25, пиломатериалов в штабелях —400 кг/(м^2 · ч).

Скорость распространения пожара определяется скоростью распространения пламени по поверхности горючего материала. Она зависит от вида материала, его способности к воспламенению, начальной температуры, направления газового потока, степени измельчения материала и др. Скорость распространения пламени варьирует в широких пределах в зависимости от угла наклона поверхности: при угле наклона 90° скорость распространения пламени вниз в 2 раза меньше средней скорости для горизонтальной поверхности данного материала, а вверх — в 8—10 раз больше.

При увеличении температуры материалов скорость увеличивается, а при достижении температуры самовоспламенения их поверхность охватывается пламенем почти мгновенно.

Скорость распространения пламени в смесях газов, используемых в промышленности, равна, м/с:

Углеводородовоздушные смеси	0,3 — 0,5
Водородовоздушная смесь.	2,8
Водородокислородная смесь.	13,8
Ацетиленокислородная смесь	15,4

По признаку изменения площади пожары делятся на распространяющиеся и нераспространяющиеся.

По условиям массо- и теплообмена с окружающей средой различают пожары в ограждениях (внутренние пожары) и на открытой местности (открытые пожары).

Большинство **внутренних** пожаров, связанных с горением твердых материалов, начинается с возникновения локального открытого пламенного горения. Далее вокруг зоны горения возникает конвективный газовый поток, обеспечивающий необходимый газовый обмен. Постепенно увеличивается температура горючего материала вблизи зоны горения, интенсифицируются физико-химические процессы горения, растет факел пламени, горение переходит в общее.

При достижении температуры примерно 100°С начинается разрушение оконных стекол и в связи с этим существенно изменяется газообмен, горение усиливается, пламя начинает выходить за пределы помещения, что может явиться причиной загорания соседних сооружений.

Распространение пламени на соседние здания и сооружения возможно также за счет излучения и переброса на значительные расстояния горящих конструктивных элементов (головни) или несгоревших частиц (искры).

За пределами помещений, в которых возник пожар, температура продуктов горения может оказаться неопасной для человека, но содержание продуктов сгорания в воздухе может стать опасным. Это характерно для высоких зданий и зданий коридорной системы, в которых опасность для человека наступает через 0,5—6 мин после начала пожара, поэтому при пожаре необходима немедленная эвакуация.

Показатель опасности при пожаре — время, по истечении которого возникают критические ситуации для жизни людей. Время эвакуации, при превышении которого могут сложиться такие ситуации, называется критическим временем эвакуации. Различают критическое время по температуре (это время очень мало, так как опасная для человека температура невелика и составляет 60°С), **критическое время** по образованию опасных концентраций вредных веществ (скорость распространения продуктов сгорания по коридорам 30 м/мин), критическое время по потере видимости (задымлению).

Необходимость срочной эвакуации определяется также тем обстоятельством, что пожары могут сопровождаться взрывами, деформациями и обрушением конструкций, вскипанием и выбросом раз-

личных жидкостей, в том числе легковоспламеняющихся и сильно ядовитых.

К **открытым** относятся пожары газовых и нефтяных фонтанов, складов древесины, пожары на открытых технологических установках, лесные, степные, торфяные пожары, пожары на складах каменного угля и др.

Общей особенностью всех открытых пожаров является отсутствие накопления теплоты в газовом пространстве. Теплообмен происходит с неограниченным окружающим пространством. Газообмен не ограничивается конструктивными элементами зданий и сооружений, он более интенсивен. Процессы, протекающие на открытых пожарах, в значительной степени зависят от интенсивности и направления ветра.

Зона горения на открытом пожаре в основном определяется распределением горючих веществ в пространстве и формирующими зону горения газовыми потоками. Зона теплового воздействия — в основном лучистым тепловым потоком, так как конвективные тепловые потоки уходят вверх и мало влияют на зону теплового воздействия на поверхности земли. За исключением лесных и торфяных пожаров зона задымления на открытых пожарах несущественно препятствует тушению пожаров. В среднем максимальная температура пламени открытого пожара для горючих газов составляет 1200—1350, для жидкостей —1100—1300 и для твердых горючих материалов органического происхождения —1100—1250°С.

Оценка поражающих факторов ЧС при пожарах. Возможность возгорания конструкций и материалов под действием потоков горячего воздуха и лучистого излучения пожара, а также безопасное удаление сооружений и людей от очага пожара являются главными показателями, характеризующими обстановку при ЧС.

При открытых пожарах главным источником распространения пожара является лучистый теплообмен. Плотность лучистого теплового потока $Q_л$ (Вт/м^2) зависит от большого числа факторов, характеризующих как сам процесс формирования теплового излучения, так и его воздействие на окружающие тела. Учесть каждый из этих факторов в аналитическом выражении, описывающем процесс теплообмена, не представляется возможным, поэтому при проведении расчетов учитываются только основные из них. Расчеты проводятся по формуле (5.1) при значения параметров, приведенных ниже.

Средние температуры поверхности пламени (T_1, K)

Горючий материал	*Температура пламени*
Торф, мазут	1273
Древесина, нефть, керосин, дизельное топливо	1373
Каменный уголь, каучук, бензин	1473
Антрацит, сера	1573
Горючие газы	1773

Температура самовоспламенения некоторых веществ (T_2, K)

Материал	*Температура самовоспламенения*
Картон серый	478
Войлок строительный	498
Ацетон	523
Этиловый спирт	568
Нефть	573
Бензин, керосин	573
Древесина сосновая	643
Дизельное топливо	653
Торф кусковой и брикетный	700
Мазут	738
Хлопок-волокно	883
Допустимая температура на теле человека	313 (40°C)

Учитываемая выражением (5.1), приведенная степень черноты определяется по степени черноты факела пламени ($\varepsilon_п$) и степени черноты облучаемого материала ($\varepsilon_м$).

Степень черноты факела пламени ($\varepsilon_п$)

Материал	*Степень черноты*
Каменный уголь, древесина, торф	0,7
Мазут, нефть	0,85
Бензин, керосин, дизельное топливо	0,98

Степень черноты различных материалов ($\varepsilon_м$)

Материал	*Степень черноты*
Сталь литовая	0,6
Сталь окисленная	0,8
Медь окисленная	0,95
Резина твердая	0,86
Резина мягкая	0,9
Дерево строганое, картон, торф	0,93

Материал	*Степень черноты*
Толь кровельный	0,9
Эмаль белая, приплавленная к железу	0,8
Кожа человека	0,95

Взаимное размещение факела пламени и облучаемого тела учитывается с помощью коэффициента ψ. Значение этого коэффициента зависит от формы и размеров факела пламени, а также от расположения облучаемой поверхности по отношению к факелу пламени.

Для упрощения процедуры определения значения ψ может быть использован график, приведенный на рис. 12.1.

Вычисляемое по уравнению (5.1) значение плотности теплового потока существенно зависит от продолжительности воздействия. Минимально необходимая для возгорания материала плотность теплового излучения, воздействующая на тело в течение определенного времени, называется критической ($Q_{\text{л.кр.}}$) и определяется в лабораторных экспериментах. В табл. 12.1 приведены значения $Q_{\text{л.кр.}}$ для различных материалов при продолжительности воздействия 3,5 и 15 мин.

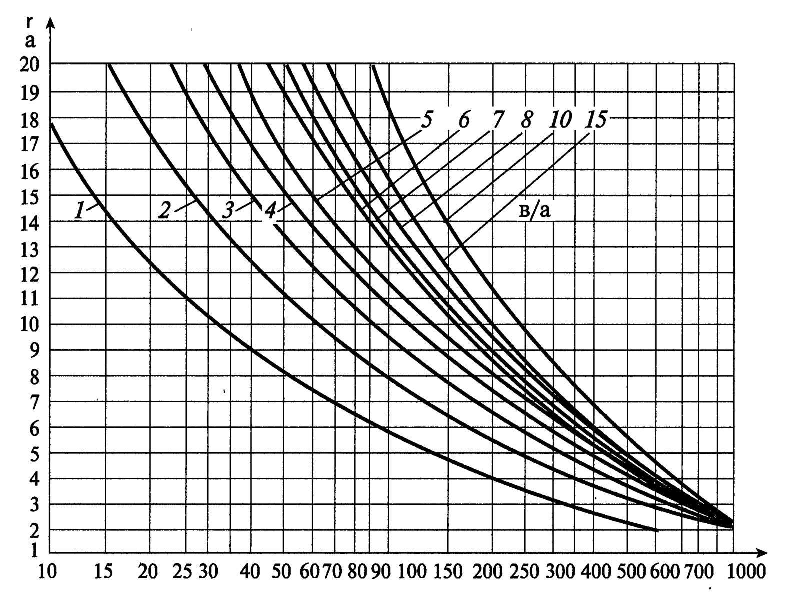


Рис. 12.1. Графики зависимости ψ от *a*, *b* (линейные размеры факела пламени) и *r* (расстояние до точки возгорания)

Таблица 12.1. **Значения критической плотности теплового потока, Вт/м^2**

Материал		$Q_{л.кр}$, при продолжительности облучения, мин		
		3	5	15
Древесина с шероховатой поверхностью		20 600	17 500	12 900
Древесина, окрашенная масляной краской		26 700	23 300	17 500
Торф брикетный		31 500	24 500	13 300
Торф кусковой		16 600	14 300	9 800
Хлопок-волокно		11 000	9700	7500
Картон серый		18 000	15 200	10 800
Стеклопластик		19 400	18 600	15 300
Резина		22 600	19 200	14 800
Горючие газы и огнеопасные жидкости с температурой самовоспламенения, °С (К)				
250	523	7800	7290	5950
300	573	11 200	10 300	8100
350	623	15 600	14 200	11 000
400	673	20 800	19 000	14 800
> = 500	773	—	—	28 000
Человек без средств спец. защиты в течение длительного времени		1050		
в течение 20 с		4000		

Сравнение значений $Q_{л.кр.}$, полученных расчетом по формуле (6.1) с данными из табл. 12.1, позволяет сделать вывод о возможности возгорания за заданное время или определить безопасные расстояния от очага пожара при заданном времени воздействия.

Взрыв: физико-химические основы, виды ВВ, пожаровзрывоопасность технологических процессов на производстве.

Взрыв — быстро протекающий процесс физического или химического превращения веществ, сопровождающийся высвобождением большого количества энергии в ограниченном объеме, в результате которого в окружающем пространстве образуется и распространяется ударная волна, способная создать угрозу жизни и здоровью людей, нанести материальный ущерб и ущерб окружающей среде, стать источником ЧС.

Источником энергии при взрыве могут быть как химические, так и физические процессы. В подавляющем большинстве взрывов источником выделения энергии являются химические превращения ве-

ществ, связанные с окислением. Установились определенные подходы и терминология при рассмотрении пожаров, взрывов и связанных с ними проблем: в случаях, когда процессы окисления протекают сравнительно медленно, без образования ударной волны, явления рассматриваются как горение. Аналогичные процессы во взрывчатых средах протекают значительно быстрее и определяются как взрывное горение или взрыв.

Примерами взрывов, энерговыделение при которых обусловлено физическими процессами, могут служить, во-первых, аварийное выливание расплавленного металла в воду, при котором испарение протекает взрывным образом вследствие чрезвычайно быстрой теплоотдачи, и, во-вторых, взрывы сжатых или сжиженных газов. В этом случае энергия, выделяющаяся при взрыве, определяется процессами, связанными с адиабатическим расширением парогазовых сред и перегревом жидкостей.

Суммарное выделение энергии при взрыве называется энергетическим потенциалом взрыва и определяет его масштабы и последствия. Существует много веществ, в которых в том или ином виде запасено большое количество энергии, например в виде внутримолекулярных или межмолекулярных связей. В нормальных условиях эти вещества достаточно устойчивы и могут находиться в твердом, жидком, газообразном или аэрозольном состоянии. Однако в результате инициирующего воздействия (теплом, трением, ударом или каким-либо другим способом) в них начинаются экзотермические процессы, протекающие с большой скоростью и приводящие к взрывчатому превращению. К взрывчатым веществам могут быть отнесены любые вещества, способные к взрывчатому превращению, однако на практике к ВВ относят вещества, обладающие следующими свойствами:

— достаточно высокое содержание энергии в единице массы и большая мощность, развиваемая при взрыве;

— пределами чувствительности к внешнему воздействию, обеспечивающие как достаточную безопасность, так и легкость возбуждения взрыва.

На промышленных предприятиях наиболее взрывоопасными являются образующиеся в нормальных или аварийных условиях газовоздушные и пылевоздушные смеси (ГВС и ПлВС).

Из ГВС наиболее опасны взрывы смесей с воздухом углеводородных газов, а также паров легковоспламеняющихся жидкостей. Взрывы ПлВС происходят на мукомольном производстве, на зерновых элеваторах, при обращении с красителями, при производстве пище-

вых продуктов, лекарственных препаратов, на текстильном производстве.

Пожаровзрывоопасность производства определяется параметрами пожароопасности и количеством используемых в технологических процессах материалов и веществ, конструктивными особенностями и режимами работы оборудования, наличием возможных источников зажигания и условий для быстрого распространения огня в случае пожара.

Согласно НПБ 105—03, все объекты в соответствии с характером технологического процесса по взрывопожарной и пожарной опасности подразделяются на пять категорий (табл. 12.2).

Таблица 12.2. **Категории помещений и зданий по пожарной и взрывной опасности**

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А (взрывопожарная)	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
	Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б (взрывопожароопасная)	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28°С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1— В4 (пожароопасные)	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть при условии, что помещение, в котором они имеются в наличии или обращении, не относятся к категориям А или Б
Г	Горючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистой теплоты, искр пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

Обозначенные выше нормы не распространяются на помещения и здания для производства и хранения взрывчатых веществ, средств инициирования взрывчатых веществ, здания и сооружения, проектируемые по специальным нормам и правилам, утвержденным в установленном порядке.

Категории помещений и зданий, определяемые в соответствии с табл. 12.2, применяют для установления нормативных требований по обеспечению взрывопожарной и пожарной безопасности указанных зданий и сооружений в отношении планировки и застройки, этажности, площадей, размещения помещений, конструктивных решений, инженерного оборудования и т. д.

Оценка поражающих факторов ЧС при взрывах. На практике чаще других встречаются свободные воздушные взрывы, наземные (приземные) взрывы, взрывы внутри помещений (внутренний взрыв), а также взрывы больших облаков ГВС.

К свободным воздушным взрывам относят взрывы, происходящие на значительной высоте от поверхности Земли, при этом не происходит усиления ударной волны между центром взрыва и объектом за счет отражения. Избыточное давление на фронте и длительность фазы сжатия τ зависят от энергии взрыва (массы C заряда ВВ), высоты центра взрыва над поверхностью Земли, условий взрыва и расстояния R от эпицентра. Параметры взрыва подчиняются законам подобия согласно следующим соотношениям:

$$R_2 = R_1 \sqrt[3]{C_2 / C_1}\ ; \quad \tau_2 = \tau_1 \sqrt[3]{C_2 / C_1}\ ,$$

где C_1 и C_2 — массы первого и второго заряда; R_1 и R_2 — расстояния до рассматриваемых точек.

Предыдущее соотношение можно записать в виде

$$\overline{R} = R / \sqrt[3]{C^*}\ ,$$

где $\overline{R}$ — приведенное расстояние; C^* — тротиловый эквивалент. Для воздушных взрывов на высоте H из условий подобия имеем

$$\overline{H} = H / \sqrt[3]{C}\ ,$$

где $\overline{H}$ — приведенная высота.

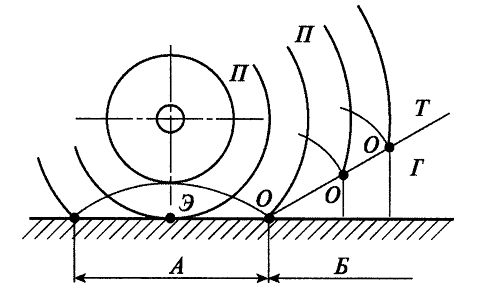
Давление $P_ф$ (МПА) для свободно распространяющейся сферической воздушной ударной волны

$$\Delta P_ф = 0{,}084/\overline{R} + 0{,}27/\overline{R}^2 + 0{,}7\overline{R}^3,$$

в которой вид взрывчатого вещества учитывается тротиловым эквивалентом.

Рис. 12.2. Волнообразование при воздушном взрыве:

Э — эпицентр взрыва; *П* — фронт падающей волны; *О* — фронт отраженной волны; *Г* — фронт головной ударной волны; *Т* — траектория тройной точки; *А* — зона регулярного отражения; *Б* — зона нерегулярного отражения



Для ядерных взрывов величина C представляет тротиловый эквивалент по ударной волне. Если обозначить $C_п$ — полный тротиловый эквивалент, то для свободно распространяющейся в атмосфере ударной волны воздушного взрыва $C = 0{,}5C_п$, а для наземного и приземного ядерных взрывов — $C = 2 \cdot 0{,}5C_п$.

Наземные и приземные взрывы. Если взрыв происходит на поверхности Земли, то воздушная ударная волна от взрыва усиливается за счет отражения. Параметры ударной волны рассчитывают по формулам воздушного взрыва, однако величину энергии взрыва удваивают; в случае конденсированных ВВ избыточное давление взрыва можно рассчитывать по соотношению

$$\Delta P_ф = P_0\left[1{,}06\frac{(\eta C)^{1/3}}{r}\right] + 4{,}3\left[\frac{(\eta C)^{2/3}}{r^2}\right] + 14{,}0\left[\frac{\eta C}{r^3}\right],$$

где P_0 — атмосферное давление, МПа; r — расстояние от центра взрыва; C — мощность заряда, кг; η — свойства поверхности, на которой происходит взрыв. Значения коэффициента η приведены ниже:

Грунт средней плотности	0,6...0,65
Плотные глины и суглинки.	0,8
Бетон	0,85...0,9
Стальные плиты.	0,95...1,0

Более сложные процессы происходят при взрывах в приземных слоях атмосферы. При этих взрывах образуются сферические воздушные ударные волны, распространяющиеся в пространстве в виде области сжатия — разряжения (рис. 12.2). Фронт воздушной ударной волны характеризуется скачком давления,температуры, плотности и скорости частиц воздуха. При достижении сферической ударной волны земной поверхности она отражается от нее, что приводит к фор-

мированию отраженной волны. На некотором расстоянии от эпицентра взрыва (проекции центра взрыва на земную поверхность) фронты прямой и отраженной ударных волн сливаются, образуя головную волну, имеющую фронт, нормальный к поверхности Земли и перемещающийся вдоль ее поверхности. Область пространства, где отсутствует наложение и слияние фронтов, называется *зоной регулярного отражения*, а область пространства, в которой распространяется головная волна,— *зоной нерегулярного отражения.*

С момента прихода фронта воздушной ударной волны в точку наземной поверхности деление резко повышается до максимального значения $\Delta P_ф$, а затем убывает до атмосферного P_0 и ниже его. Период повышенного избыточного давления называется фазой сжатия, а период пониженного давления — фазой разрежения.

Действие воздушной ударной волны на здания и сооружения определяется не только избыточным давлением, но и действием скоростного напора воздушных масс, величину которого можно определить по следующему соотношению:

$$P_{скф} = \left[\frac{1}{2}\right] \rho_ф \chi_ф^2 = \Delta P_ф \Delta P'_ф / [(\gamma - 1)\Delta P'_ф + 2\gamma],$$

для воздуха $\gamma = C_p/C_v = 1{,}4$, тогда

$$P_{скф} = \left[\frac{5}{2}\right] \Delta P_ф \Delta P'_ф / (\Delta P'_ф + 7),$$

где $\Delta P'_ф = \Delta P_ф / P_0$.

$$\Delta P_{отр} = 2\Delta P_ф + \left[\frac{6\Delta P_ф^2}{\Delta P_ф + 0{,}72}\right].$$

Внутренний взрыв характеризуется тем, что нагрузка воздействует на объект изнутри. Возникающие нагрузки зависят от многих факторов: типа взрывчатого вещества, его массы, полноты заполнения внутреннего объема помещения взрывчатым веществом, его местоположения во внутреннем объеме и т. д. Полное решение задачи определения параметров взрыва является сложной задачей, с ним можно познакомиться в специальной литературе. Ориентировочно оценку возможных последствий взрывов внутри помещения можно производить по величине избыточного давления, возникающего в объеме производственного помещения по НПБ 105—95.

Для горючих газов, паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, состоящих из атомов H, O, N, Cl, F, L, Br, избыточное давление взрыва

$$\Delta P' = (P_{max} - P_0)\left[\frac{m_г Z}{\rho_г V_{св}} \frac{100}{C_{сг}} \frac{1}{K_н}\right],$$

где P_{max} — максимальное давление взрыва стехиометрической газовоздушной или паровоздушной смести в замкнутом объеме; определяется экспериментально или по справочным данным, при отсутствии данных допускается принимать равным 900 кПа; P_0 — начальное давление, кПа; допускается принимать равным 101 кПа; $m_г$ — масса горючего газа или паров легковоспламеняющейся или горючей жидкости, поступивших в результате аварии в помещение, кг; Z — доля участия взвешенного дисперсного продукта во взрыве; $\rho_г$ — плотность газа, кг/м^3; $V_{св}$ — свободный объем помещения, м^3; определяется как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием; если свободный объем помещения определить невозможно, то его принимают условно равным 80 % геометрического объема помещения; $C_{сг}$ — стехиометрический коэффициент; $K_н$ — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения; допускается принимать равным 3.

Избыточное давление взрыва для химических веществ кроме упомянутых выше, а также для смесей

$$\Delta P = \left[\frac{mH_г P_0 Z}{V_{св}\rho_в C_p T_0} \frac{1}{R_н}\right], \tag{12.1}$$

где $H_г$ — теплота сгорания, Дж;кг; $\rho_в$ — плотность воздуха до взрыва при начальной температуре, кг/м^3; $C_р$ — удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг · К); допускается принимать равной $1{,}01 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К); T_0 — начальная температура воздуха, К.

Избыточное давление взрыва для горючих пылей определяют по формуле (12.1), где при отсутствии данных коэффициент Z принимается равным 0,5.

Расчет избыточного давления взрыва для веществ и материалов, способных взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, проводят по формуле (12.1), принимая $Z = 1$ и в качестве величины $H_г$ энергию, выделяющуюся при взаимодействии 1 кг вещества (с учетом сгорания продуктов взаимо-

действия до конечных соединений), или экспериментально в натурных испытаниях.

Расчетное избыточное давление взрыва для гибридных взрывоопасных смесей, содержащих газы (пары) и пыли:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2,$$

где ΔP_1 — давление взрыва, вычисленное для газа (пара); ΔP_2 — давление взрыва, вычисленное для пыли.

Массы $m_г$ горючего газа (массу паров жидкости или массу взвешенной в объеме помещения пыли), поступившего в результате аварии в помещения, определяют согласно НПБ 105—95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» или исходя из иных объективных экспертных оценок.

Взрыв (горение) газового облака. Причинами взрывов могут быть большие газовые облака, образующиеся при утечках или внезапном разрушении герметичных емкостей, трубопроводов и т. п. Процесс взрыва или горения таких газовых облаков имеет ряд специфических особенностей, что приводит к необходимости рассмотреть эти процессы отдельно. Образующиеся в атмосфере газовые облака чаще всего имеют сигарообразную форму, вытянутую по направлению ветра. Инициаторы горения или взрыва в этих случаях носят чаще всего случайный характер. Причем воспламенение не всегда сопровождается взрывом.

При плохом перемешивании газообразных веществ с атмосферным воздухом взрыва вообще не наблюдается. В этом случае при воспламенении газо- или паровоздушной смеси от места инициирования с дозвуковой скоростью будет распространяться «волна горения». Так как распространение пламени происходит со сравнительно низкой скоростью, в волне горения давление не повышается. В таком процессе имеет место только расширение продуктов горения за счет их нагрева в зоне пламени, и давление успевает выравняться по всему объему. Медленный режим горения облака с наружной поверхности с большим выделением лучистой энергии может привести к образованию множества очагов пожаров на промышленном объекте.

При оценке разрушительного действия взрыва газового облака в открытом пространстве необходимо определить избыточное давление (скоростной напор) во фронте пламени. Если пламя распространяется от точечного источника зажигания в неограниченном пространстве, то оно имеет форму, близкую к сфере радиуса r, который непрерывно увеличивается по закону

$$r = \varepsilon\chi ut,$$

где u — нормальная скорость пламени; ε — степень расширения газов при сгорании; χ — коэффициент искривления фронта пламени; t — текущее значение времени, отсчитываемое от момента зажигания.

В произвольной точке M на расстоянии x от точки воспламенения скорость газа

$$v_x = v_0(r^3/x^3) = \chi u(\varepsilon - 1)(\varepsilon\chi ut/x)^3,$$

где v_0 — скорость движения фронта пламени при свободном сгорании; $v_0 = (\varepsilon - 1)\chi u$.

Если в точке M расположен какой-либо объект, но на него воздействует скоростной напор

$$\Delta P = \rho v_x^2/2 = (\rho/2)[\chi u(\varepsilon - 1)(\varepsilon - 1)(\varepsilon\chi ut/x)^3]^2,$$

где ρ — плотность газов при нормальных условиях.

Скоростной напор достигает максимума, когда фронт пламени подходит непосредственно к данному объекту. Для пламени предельных углеводородов скоростной напор в открытом пространстве может достигать 26 кПа.

По избыточному давлению взрыва можно ориентировочно оценить степень разрушения различных видов объектов [1].

12.3. УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭКОНОМИКИ В ЧС

В настоящее время существуют два основных направления минимизации вероятности возникновения ЧС и их последствий.

Первое направление заключается в разработке технических и организационных мероприятий, уменьшающих вероятность реализации опасного поражающего потенциала современных технических систем. В рамках этого направления осуществляется тщательный контроль эксплуатационных показателей всех технологических процессов объекта, позволяющий заранее выявить возможный аварийный участок, технические системы снабжают защитными устройствами — средствами взрыво- и пожарозащиты технологического оборудования, электро- и молниезащиты, локализации и тушения пожаров и т. д. Объектом анализа в рамках первого направления деятельности является первая типовая фаза развития ЧС. Эффективность решения задач первого направления оценивают повышением *устойчивости промышленного объекта.*

Второе направление базируется на анализе возможного развития аварии во второй, третьей и четвертой фазах и заключается в подготовке объекта, обслуживающего персонала, служб гражданской обороны и населения к действиям в условиях ЧС. Основой второго направления является *формирование планов действий в ЧС,* для создания которых нужны детальные разработки сценариев возможных аварий и катастроф на конкретных объектах, а также необходимо располагать экспериментальными и статистическими данным о физических и химических явлениях, составляющих возможную аварию , прогнозировать размеры и степень поражения объекта при воздействии на него поражающих факторов различных видов.

Устойчивость объекта в ЧС может оцениваться в общей и частных постановках задачи. В общей постановке оценивается функционирование объекта в целом в соответствии с его целевым предназначением. В частных постановках может оцениваться устойчивость конструктивных элементов, участков, цехов или даже отдельных функций объекта относительно отдельных или всех в совокупности поражающих факторов ЧС.

В общей постановке под *устойчивостью работы промышленного объекта* понимают способность объекта выпускать установленные виды продукции в объемах и номенклатуре, предусмотренных соответствующими планами в условиях ЧС, а также приспособленность этого объекта к восстановлению в случае повреждения. Для объектов, не связанных с производством материальных ценностей (транспорта, связи, линий электропередач и т. п.), устойчивость определяется его способностью выполнять свои функции. Под *устойчивостью технической системы* понимается возможность сохранения ею работоспособности при ЧС.

Повышение устойчивости технических систем и объектов достигается главным образом организационно-техническими мероприятиями, которым всегда предшествует исследование устойчивости конкретного объекта.

На первом этапе исследования анализируют устойчивость и уязвимость его элементов в условиях ЧС, а также оценивают опасность выхода из строя или разрушения элементов или всего объекта в целом. На этом этапе анализируют:

— надежность установок и технологических комплексов;

— последствия аварий отдельных систем производства;

— распространение ударной волны по территории предприятия при взрывах сосудов, коммуникаций, ядерных зарядов и т. п.;

— распространение огня при пожарах различных видов;

— рассеивание веществ, высвобождающихся при ЧС;

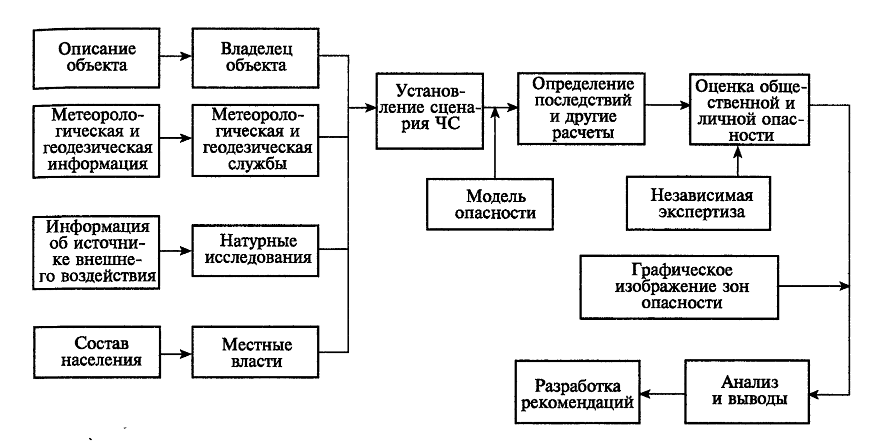


Рис. 12.3. Примерная схема оценки опасности промышленного объекта

— возможность вторичного образования токсичных, пожаро- и взрывоопасных смесей и т. п.

Примерная схема оценки опасности промышленного объекта представлена на рис. 12.3. Оценка может проводиться с применением различных методов анализа повреждений и дефектов, в том числе и с построением дерева отказов и дерева событий.

На втором этапе исследования разрабатывают мероприятия по повышению устойчивости и подготовке объекта к восстановлению после ЧС. Эти мероприятия составляют основу плана-графика повышения устойчивости объекта. В плане указывают объем и стоимость планируемых работ, источники финансирования, основные материалы и их количество, машины и механизмы, рабочую силу, ответственных исполнителей, сроки выполнения и т. д.

Исследование устойчивости функционирования объекта начинается задолго до ввода его в эксплуатацию. На стадии проектирования это в той или иной степени делает проектант. Такое же исследование объекта проводится соответствующими службами на стадии технических, экономических, экологических и иных видов экспертиз. Каждая реконструкция или расширение объекта также требует нового исследования устойчивости. Таким образом, исследование устойчивости — это не одноразовое действие, а длительный, динамичный процесс, требующий постоянного внимания со стороны руководства, технического персонала, служб гражданской обороны.

Любой промышленный объект включает наземные здания и сооружения основного и вспомогательного производства, складские помещения и здания административно-бытового назначения. В зда-

ниях и сооружениях основного и вспомогательного производства размещается типовое технологическое оборудование, сети газо-, тепло-, электроснабжения. Между собой здания и сооружения соединены сетью внутреннего транспорта, сетью энергоносителей и системами связи и управления. На территории промышленного объекта могут быть расположены сооружения автономных систем электро- и водоснабжения, а также отдельно стоящие технологические установки и т. д. Здания и сооружения возводятся по типовым проектам из унифицированных материалов. Проекты производств выполняются по единым нормам технологического проектирования, что приводит к среднему уровню плотности застройки (обычно 30—60 %). Все это дает основание считать, что для всех промышленных объектов, независимо от профиля производства и назначения, характерны общие факторы, влияющие на устойчивость объекта и подготовку его к работе в условиях ЧС.

На работоспособность промышленного объекта оказывают негативное влияние специфические условия и прежде всего район его расположения. Он определяет уровень и вероятность воздействия опасных факторов природного происхождения (сейсмическое воздействие, сели, оползни, тайфуны, цунами, число гроз, ливневых дождей и т. д.). Поэтому большое внимание уделяется исследованию и анализу района расположения объекта. При этом выясняются метеорологические условия района (количество осадков, направление господствующих ветров, максимальная и минимальная температура самого жаркого и самого холодного месяца); изучаются рельеф местности, характер грунта, глубина залегания подпочвенных вод, их химический состав. На устойчивость объекта влияют: характер застройки территории (структура, тип, плотность застройки), окружающие объект смежные производства, транспортные магистрали, естественные условия прилегающей местности (лесные массивы — источники пожаров, водные объекты — возможные транспортные коммуникации, огнепреградительные зоны и в то же время источники наводнений и т. п.).

Район расположения может оказаться решающим фактором в обеспечении защиты и работоспособности объекта в случае выхода из строя штатных путей подачи исходного сырья или энергоносителей. Например, наличие реки вблизи объекта позволит при разрушении железнодорожных или трубопроводных магистралей осуществить подачу материалов, сырья и комплектующих водным транспортом.

При изучении устойчивости объекта дают характеристику зданиям основного и вспомогательного производства, а также зданиям, которые не будут участвовать в производстве основной продукции в

случае ЧС. Устанавливают основные особенности их конструкции, указывают технические данные, этажность, длину и высоту, вид каркаса, стеновые заполнения, световые проемы, кровлю, перекрытия, степень износа, огнестойкость здания, число рабочих и служащих, одновременно находящихся в здании (наибольшая рабочая смена), наличие встроенных в здание и вблизи расположенных убежищ, наличие в здании средств эвакуации и их пропускная способность.

При оценке внутренней планировки территории объекта определяется влияние плотности и типа застройки на возможность возникновения и распространения пожаров, образования завалов входов в убежища и проходов между зданиями. Особое внимание обращается на участки, где могут возникнуть вторичные факторы поражения. Такими источниками являются: емкости с ЛВЖ и АХОВ, склады ВВ и взрывоопасные технологические установки; технологические коммуникации, разрушение которых может вызвать пожары, взрывы и загазованность, склады легковоспламеняющихся материалов, аммиачные установки и др. При этом прогнозируются последствия следующих процессов:

— утечки тяжелых и легких газов или токсичных дымов;

— рассеивания продуктов сгорания во внутренних помещениях;

— пожары цистерн, колодцев, фонтанов;

— нагрева и испарения жидкостей в бассейнах и емкостях;

— воздействия на человека продуктов горения и иных химических веществ;

— радиационного теплообмена при пожарах;

— взрывов паров ЛВЖ;

— образования ударной волны в результате взрывов паров ЛВЖ, сосудов, находящихся под давлением, взрывов в закрытых и открытых помещениях;

— распространения пламени в зданиях и сооружениях объекта и т. п.

Технологический процесс изучается с учетом специфики производства на время ЧС (изменение технологии, частичное прекращение производства, переключение на производство новой продукции и т. п.). Оцениваются минимум и возможность замены энергоносителей; возможность автономной работы отдельных станков, установок и цехов объекта, запасы и места расположения АХОВ, ЛВЖ и горючих веществ; способы безаварийной остановки производства в условиях ЧС. Особое внимание уделяется изучению систем газоснабжения, поскольку разрушение этих систем может привести к появлению вторичных поражающих факторов.

При исследовании систем управления производством на объекте изучают расстановку сил и состояние пунктов управления и надежности узлов связи; определяют источники пополнения рабочей силы, анализируют возможности взаимозаменяемости руководящего состава объекта.

В частной постановке устойчивость объекта в ЧС может быть оценена относительно действия какого-либо одного поражающего фактора, например, относительно температурного воздействия на здания, сооружения и оборудование объекта.

Пожарная защита. Температурное воздействие является статистически преобладающим поражающим фактором, проявляющимся при различных ЧС техногенного происхождения в качестве первичного, а в ряде случаев и вторичного фактора. Оно возникает при воздействии потоков нагретого воздуха, открытого пламени, температурном воздействии при взрывах или воздействии лучистой энергии и приводит к возникновению и распространению пожаров.

Устойчивость функционирования промышленного объекта при возникновении пожара зависит от огнестойкости элементов оборудования и зданий, от их конструктивной и функциональной пожарной опасности, от наличия на объекте средств локализации и тушения пожаров и возможностей их своевременного применения.

Под *огнестойкостью* понимают способность строительной конструкции сопротивляться воздействию высокой температуры в условиях пожара и выполнять при этом свои обычные эксплуатационные функции.

Потеря несущей способности определяется обрушением конструкции или возникновением предельных деформаций и обозначается индексом R. Потеря ограждающих функций определяется потерей целостности или теплоизолирующей способности. Потеря целостности обусловлена проникновением продуктов сгорания за изолирующую преграду и обозначается индексом E. Потеря теплоизолирующей способности определяется повышением температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем более чем на 140°C или в любой точке этой поверхности более чем на 180°C и обозначается индексом J.

Основные положения методов испытаний конструкций на огнестойкость изложены в ГОСТ 30247.0—94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования» и ГОСТ 30247.1—94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции».

Степень огнестойкости здания определяется огнестойкостью его конструкций в соответствии с табл. 12.3 (СНиП 21-1—97)*.

Таблица 12.3. **Огнестойкость строительных конструкций**

Степень огнестойкости здания	Максимальные пределы огнестойкости строительных конструкций					
	несущие элементы здания	наружные стены	перекрытия междуэтажные, чердачные и над подвалом	покрытия бесчердачные	лестничные клетки	
					внутренние площадки стены	марши лестниц
I	R120	RE30	REJ60	RE30	REJ120	R60
II	R45	RE15	REJ45	RE15	REJ90	R45
III	R15	RE15	REJ15	RE15	REJ45	R30
IV	Не нормируется					

СНиП 21-01—97* регламентирует классификацию зданий по степени огнестойкости, конструктивной и функциональной пожарной опасности.

Класс *конструктивной пожарной опасности* здания определяется степенью участия строительных конструкций в развитии пожара и образования его опасных факторов.

По пожарной опасности строительные конструкции подразделяются на классы: К0, К1, К2, К3 (ГОСТ 30403—95 «Конструкции строительные. Метод определения пожарной опасности»). Класс пожарной опасности конструкции определяется по табл. 12.4 (по наименее благоприятному фактору).

Таблица 12.4. **Классы пожарной опасности конструкции**

Класс пожарной опасности конструкции	Допустимый размер повреждения конструкции, см		Наличие		Допускаемые характеристики пожарной опасности поврежденного материала		
					Группа		
	вертикальные	горизонтальные	теплового эффекта	горения	горючести	воспламеняемости	дымообразующей способности
К0	0	0	Н.Д.	Н.Д.	—	—	—
К1	До 40	До 25	Н.Д.	Н.Д.	Н.Р.	Н.Р.	Н.Р.
	»	»	Н.Р.	Н.Р.	Г2	В2	Д2
К2	Более 40, но до 80	Более 25, но до 50	Н.Д.	Н.Д.	Н.Р.	Н.Р.	Н.Р.
К3	»	»	Н.Р.	Н.Д. Н.Р.	Г3	В3	Д2

Примечание. Н.Д.— не допускается; Н.Р.— не регламентируется; обозначения группы горючести поврежденного материала приняты по ГОСТ 30244, воспламеняемости по ГОСТ 30402. Дымообразующая способность Д2 соответствует материалам с умеренной дымообразующей способностью по ГОСТ 12.1.044.

Здания и пожарные отсеки по конструктивной пожарной опасности подразделяются на классы согласно табл. 12.5.

Таблица 12.5. **Классы конструктивной пожарной опасности здания**

Класс конструктивной пожарной опасности здания	Допускаемые классы пожарной опасности строительных конструкций				
	несущие стержневые элементы (колонны, ригели, фермы и др.)	стены наружные с внешней стороны	стены, перегородки и перекрытия и бесчердачные покрытия	стены лестничных клеток и противопожарные преграды	марши и площадки лестниц
С0	К0	К1	К0	К0	К0
С1	К2	К2	К1	К0	К0
С2	К3	К3	К2	К1	К1
С3	Не нормируется				

Согласно ГОСТ 30244—94 «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть», строительные материалы в зависимости от значения параметров горючести подразделяются на горючие (Г) и негорючие (НГ) (табл. 12.6).

Таблица 12.6. **Характеристики групп горючести строительных материалов**

Группа горючести материалов	Параметры горючести			
	температура дымовых газов t, °С	степень повреждения по длине S_l, %	степень повреждения по массе S_m, %	продолжительность самостоятельного горения $t_{ст}$, °С
Г1	< 135	< 65	< 20	0
Г2	< 235	< 85	< 50	< 30
Г3	< 450	> 85	< 50	< 300
Г4	> 450	> 85	> 50	> 300
НГ	Прирост температуры в печи за счет горения образца не превысил 50°С, потеря массы образца была не более 50 %, а продолжительность устойчивого пламенного горения не более 10°С			

Определение горючести строительных материалов проводят экспериментально.

Для отделочных материалов, кроме характеристики горючести, вводится понятие величины критической поверхностной плотности теплового потока (КППТП), при которой возникает устойчивое пламенное горение материала (ГОСТ 30402—96). В зависимости от значения КППТП все материалы подразделяются на три группы воспламеняемости:

— В1 — КППТП равна или больше 35 кВт/м²;
— В2 — больше 20, но меньше 35 кВт/м²;
— В3 — меньше 20 кВт/м².

По *функциональной пожарной опасности* здания и помещения подразделяются на классы в зависимости от способа их использования и от того, в какой мере безопасность людей в них, в случае возникновения пожара, находится под угрозой, с учетом их возраста, физического состояния, сна или бодрствования, вида основного функционального контингента и его количества.

К классу Ф1 относятся здания и помещения, связанные постоянным или временным проживанием людей, в который входят:

— Ф1.1 — детские дошкольные учреждения, дома престарелых и инвалидов, больницы, спальные корпуса школ-интернатов и детских учреждений;

— Ф1.2 — гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха, кемпингов и мотелей, пансионатов;

— Ф1.3 — многоквартирные жилые дома;

— Ф1.4 — индивидуальные, в том числе блокированные, дома.

К классу Ф2 относятся зрелищные и культурно-просветительские учреждения, в который входят:

— Ф2.1 — театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, цирки, спортивные сооружения и другие учреждения с местами для зрителей в закрытых помещениях;

— Ф2.2 — музеи, выставки, танцевальные залы, публичные библиотеки и другие подобные учреждения в закрытых помещениях;

— Ф2.3 — то же, что Ф2.1, но расположенные на открытом воздухе.

К классу Ф3 относятся предприятия по обслуживанию населения:

— Ф3.1 — предприятия торговли и общественного питания;

— Ф3.2 — вокзалы;

— Ф3.3 — поликлиники и амбулатории;

— Ф3.4 — помещения для посетителей предприятий бытового и коммунального обслуживания населения;

— Ф3.5 — физкультурно-оздоровительные и спортивно-тренировочные учреждения без трибун для зрителей.

К классу Ф4 относятся учебные заведения, научные и проектные организации:

— Ф4.1 — общеобразовательные школы, средние специальные учебные заведения, профтехучилища, внешкольные учебные заведения;

— Ф4.2 — высшие учебные заведения, учреждения повышения квалификации;

— Ф4.3 — учреждения органов управления, проектно-конструкторские организации, информационно-издательские организации, научно-исследовательские организации, банки, офисы.

К классу Ф5 относятся производственные и складские помещения:

— Ф5.1 — производственные и лабораторные помещения;

— Ф5.2 — складские здания и помещения, стоянки автомобилей без технического обслуживания, книгохранилища и архивы;

— Ф5.3 — сельскохозяйственные здания.

Производственные и складские помещения, а также лаборатории и мастерские в зданиях классов Ф1, Ф2, Ф3, Ф4 относятся к классу Ф5.

По масштабам и интенсивности пожары можно подразделить на:

— отдельный пожар, возникающий в отдельном здании (сооружении) или в небольшой изолированной группе зданий;

— сплошной пожар, характеризующийся одновременным интенсивным горением преобладающего числа зданий и сооружений на определенном участке застройки (более 50 %);

— огневой шторм, особая форма распространяющегося сплошного пожара, образующаяся в условиях восходящего потока нагретых продуктов сгорания и быстрого поступления в сторону центра огневого шторма значительного количества свежего воздуха (ветер со скоростью 50 км/ч);

— массовый пожар, образующийся при наличии в местности совокупности отдельных и сплошных пожаров.

Распространение пожаров и превращение их в сплошные пожары при прочих равных условиях определяется плотностью застройки территории объекта. О влиянии плотности размещения зданий и сооружений на вероятность распространения пожара можно судить по ориентировочным данным, приведенным ниже:

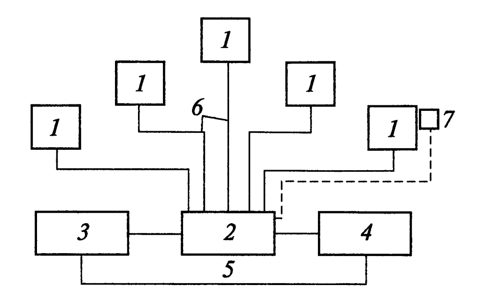
Расстояние между зданиями, м	0	5	10	15	20	30	40	50	70	90
Вероятность распространения пожара, %	100	87	66	47	27	23	9	3	2	0

Быстрое распространение пожара возможно при следующих сочетаниях степени огнестойкости зданий и сооружений с плотностью застройки: для зданий I и II степени огнестойкости плотность застройки должна быть не более 30 %; для зданий III степени — 20 %; для здания IV и V степени — не более 10 %.

Влияние трех факторов (плотности застройки, степени огнестойкости здания и скорости ветра) на скорость распространения огня можно проследить на следующих цифрах:

Рис. 12.4. Принципиальная схема системы электрической пожарной сигнализации:

1 — датчики-извещатели; *2* — приемная станция; *3* — блок резервного питания; *4* — блок питания от сети; *5* — система переключения; *6* — проводка; *7* — исполнительный механизм системы пожаротушения



1) при скорости ветра до 5 м/с в зданиях I и II степени огнестойкости скорость распространения пожара составляет примерно 120 м/ч; в зданиях IV степени огнестойкости — примерно 300 м/ч, а в случае сгораемой кровли до 900 м/ч; 2) при скорости ветра до 15 м/с в зданиях I и II степени огнестойкости и скорость распространения пожара достигает 360 м/с.

Средства локализации и тушения пожаров. К основным видам техники, предназначенной для защиты различных объектов от пожаров, относятся средства сигнализации и пожаротушения.

Пожарная сигнализация должна быстро и точно сообщать о пожаре с указанием места его возникновения. Наиболее надежной системой пожарной сигнализации является электрическая пожарная сигнализация. Наиболее совершенные виды такой сигнализации дополнительно обеспечивают автоматический ввод в действие предусмотренных на объекте средств пожаротушения. Принципиальная схема электрической системы сигнализации представлена на рис. 12.4. Она включает пожарные извещатели, установленные в защищаемых помещениях и включенные в сигнальную линию; приемно-контрольную станцию, источник питания, звуковые и световые средства сигнализации, а также автоматические установки пожаротушения и дымоудаления.

Надежность электрической системы сигнализации обеспечивается тем, что все ее элементы и связи между ними постоянно находятся под напряжением. Этим обеспечивается осуществление постоянного контроля за исправностью установки.

Важнейшим элементом системы сигнализации являются пожарные извещатели, которые преобразуют физические параметры, характеризующие пожар, в электрические сигналы. По способу приведения в действие извещатели подразделяют на ручные и автоматические. Ручные извещатели выдают в линию связи электрический сигнал определенной формы в момент нажатия кнопки. Автоматические пожарные извещатели включаются при изменении параметров окружающей среды в момент возникновения пожара. В зависимости от

фактора, вызывающего срабатывание датчика, извещатели подразделяются на *тепловые, дымовые, световые* и *комбинированные*. Наибольшее распространение получили тепловые извещатели, чувствительные элементы которых могут быть биметаллическими, термопарными, полупроводниковыми.

Дымовые пожарные извещатели, реагирующие на дым, имеют в качестве чувствительного элемента фотоэлемент или ионизационные камеры, а также дифференциальное фотореле. Дымовые извещатели бывают двух типов: точечные, сигнализирующие о появлении дыма в месте их установки, и линейно-объемные, работающие на принципе затенения светового луча между приемником и излучателем.

Световые пожарные извещатели основаны на фиксации различных составных частей спектра открытого пламени. Чувствительные элементы таких датчиков реагируют на ультрафиолетовую или инфракрасную область спектра оптического излучения.

Инерционность первичных датчиков является важной характеристикой. Наибольшей инерционностью обладают тепловые датчики, наименьшей — световые.

Комплекс мероприятий, направленных на устранение причин возникновения пожара и создание условий, при которых продолжение горения будет невозможным, называется *пожаротушением*.

Для ликвидации процесса горения необходимо прекратить подачу в зону горения либо горючего, либо окислителя, или уменьшить подвод теплового потока в зону реакции. Это достигается:

— сильным охлаждением очага горения или горящего материала с помощью веществ (например, воды), обладающих большой теплоемкостью;

— изоляцией очага горения от атмосферного воздуха или снижением концентрации кислорода в воздухе путем подачи в зону горения инертных компонентов;

— применением специальных химических средств, тормозящих скорость реакции окисления;

— механическим срывом пламени сильной струей газа или воды;

— созданием условий огнепреграждения, при которых пламя распространяется через узкие каналы, сечение которых меньше тушащего диаметра.

Для достижения вышеуказанных эффектов в настоящее время в качестве средств тушения используют:

— воду, которая подается в очаг пожара сплошной или распыленной струей;

— различные виды пен (химическая или воздушно-механическая), представляющих собой пузырьки воздуха или углекислого газа, окруженные тонкой пленкой воды;

— инертные газовые разбавители, в качестве которых могут использоваться: углекислый газ, азот, аргон, водяной пар, дымовые газы и т. д.;

— гомогенные ингибиторы — низкокипящие галогеноуглеводороды;

— гетерогенные ингибиторы — огнетушащие порошки;

— комбинированные составы.

Вода является наиболее широко применяемым средством тушения.

Обеспечение предприятий и регионов необходимым объемом воды для пожаротушения обычно производится из общей (городской) сети водопровода или из пожарных водоемов и емкостей. Требования к системам противопожарного водоснабжения изложены в СНиП 2.04.02—84* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» и в СНиП 2.04.01—85* «Внутренний водопровод и канализация зданий».

Противопожарные водопроводы принято подразделять на *водопроводы низкого и среднего давления*. Свободный напор при пожаротушении в водопроводной сети низкого давления при расчетном расходе должен быть не менее 10 м от уровня поверхности земли, а требуемый для пожаротушения напор воды создается передвижными насосами, устанавливаемыми на гидранты. В сети высокого давления должна обеспечиваться высота компактной струи не менее 10 м при полном расчетном расходе воды и расположении ствола на уровне наивысшей точки самого высокого здания. Системы высокого давления более дорогие вследствие необходимости использовать трубопроводы повышенной прочности, а также дополнительные водонапорные баки на соответствующей высоте или устройства насосной водопроводной станции. Поэтому системы высокого давления предусматривают на промышленных предприятиях, удаленных от пожарных частей более чем на 2 км, а также в населенных пунктах с числом жителей до 500 тыс. человек.

Принципиальная схема устройства системы объединенного водоснабжения показана на рис. 12.5. Вода из естественного источника поступает в водоприемник и далее насосами станции первого подъема подается в сооружение на очистку, затем по водоводам в пожарорегулирующее сооружение (водонапорную башню) и далее по магистральным водопроводным линиям к вводам в здания. Устройство водонапорных сооружений связано с неравномерностью потребления воды по часам суток. Как правило, сеть противопожарного водо-

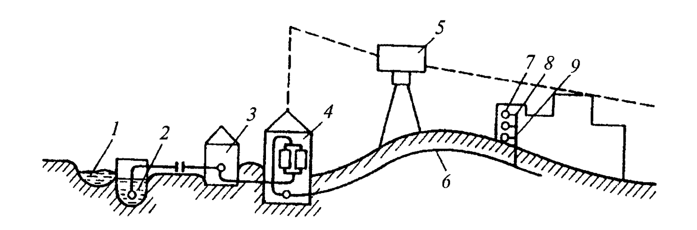


Рис. 12.5. Схема объединенного водоснабжения:

1 — источник воды; 2 — водоприемник; 3 — станция первого подъема; 4 — водоочистные сооружения и станция второго подъема; 5 — водонапорная башня; 6 — магистральные линии; 7 — потребители воды; 8 — распределительные трубопроводы; 9 — вводы в здания

провода делают кольцевой, обеспечивающей две линии подачи воды и тем самым высокую надежность водообеспечения.

Нормируемый расход воды на пожаротушение складывается из расходов на наружное и внутреннее пожаротушение. При нормировании расхода воды на наружное пожаротушение исходят из возможного числа одновременных пожаров в населенном пункте, возникающих в течение трех смежных часов в зависимости от численности жителей и этажности зданий (СНиП 2.04.02—84*). Нормы расхода и напор воды во внутренних водопроводах в общественных, жилых и вспомогательных зданиях регламентируются СНиП 2.04.01—85* в зависимости от их этажности, длины коридоров, объема, назначения.

Для пожаротушения в помещениях используют автоматические огнегасительные устройства. Наиболее широкое распространение получили установки, которые в качестве распределительных устройств используют спринклерные (рис. 12.6) или дренчерные (рис. 12.7) головки.

Спринклерная головка — это прибор, автоматически открывающий выход воды при повышении температуры внутри помещения, вызванной возникновением пожара. Спринклерные установки включаются автоматически при повышении температуры среды внутри помещения до заданного предела. Датчиком является сама спринклерная головка, снабженная легкоплавким замком, который расплавляется при повышении температуры и открывает отверстие в трубопроводе с водой над очагом пожара. Спринклерная установка состоит из сети водопроводных питательных и оросительных труб, установленных под перекрытием. В оросительные трубы на определенном расстоянии друг от друга ввернуты спринклерные головки. Один спринклер устанавливают на площади 6—9 м^2 помещения в зависимости от пожарной опасности производства. Если в защищае-

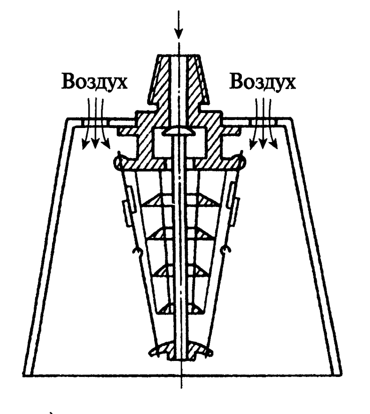


Рис. 12.6. Спринклерная головка

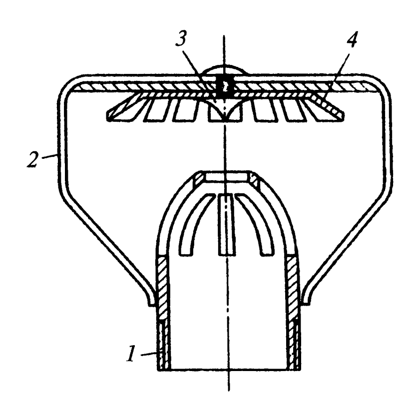


Рис. 12.7. Дренчерная головка:
1 — корпус; *2* — дуга; *3* — дефлектор; *4* — розетка

мом помещении температура воздуха может опускаться ниже + 4°С, то такие объекты защищают воздушными спринклерными системами, отличающимися от водяных тем, что такие системы заполнены водой только до контрольно-сигнального устройства, распределительные трубопроводы, расположенные выше этого устройства в неотапливаемом помещении, заполняются воздухом, нагнетаемым специальным компрессором.

Дренчерные установки (см. рис. 12.7) по устройству близки к спринклерным и отличаются от последних тем, что оросители на распределительных трубопроводах не имеют легкоплавкого замка и отверстия постоянно открыты. Дренчерные системы предназначены для образования водяных завес, для защиты здания от возгорания при пожаре в соседнем сооружении, для образования водяных завес в помещении с целью предупреждения распространения огня и для противопожарной защиты в условиях повышенной пожарной опасности. Дренчерная система включается вручную или автоматически по сигналу автоматического извещателя о пожаре с помощью контрольно-пускового узла, размещаемого на магистральном трубопроводе.

В спринклерных и дренчерных системах могут применяться и воздушно-механические пены. Основным огнегасительным свойством пены является изоляция зоны горения путем образования на поверхности горящей жидкости паронепроницаемого слоя определенной структуры и стойкости. Состав воздушно-механической пены следующий: 90 % воздуха, 9,6 % жидкости (воды) и 0,4 % пенообразующего вещества. Характеристиками пены, определяющими ее огнега-

сящие свойства, являются стойкость и кратность. Стойкость — это способность пены сохраняться при высокой температуре во времени; воздушно-механическая пена имеет стойкость 30—45 мин, кратность — отношение объема пены к объему жидкости, из которой она получена, достигающая 8—12.

Получают пену в стационарных, передвижных, переносных устройствах и ручных огнетушителях. В качестве пожаротушащего вещества широкое распространение получила пена следующего состава: 80 % углекислого газа, 19,7 % жидкости (воды) и 0,3 % пенообразующего вещества. Кратность химической пены обычно равна 5, стойкость около 1 ч.

Взрывозащита технологического оборудования. Ни одно производство не обходится без использования систем повышенного давления (трубопроводов, баллонов и емкостей для хранения или перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов, газгольдеров и т. д.). Любые системы повышенного давления всегда представляют потенциальную опасность.

Причинами разрушения или разгерметизации систем повышенного давления могут быть: внешние механические воздействия, старение систем (снижение механической прочности); нарушение технологического режима; конструкторские ошибки; изменение состояния герметизируемой среды; неисправности в контрольно-измерительных, регулирующих и предохранительных устройствах; ошибки обслуживающего персонала и т. д.

Взрывозащита систем повышенного давления достигается организационно-техническими мероприятиями; разработкой инструктивных материалов, регламентов, норм и правил ведения технологических процессов; организацией обучения и инструктажа обслуживающего персонала; осуществлением контроля и надзора за соблюдением норм технологического режима, правил и норм техники безопасности, пожарной безопасности и т. п. Кроме того, оборудование повышенного давления должно быть оснащено системами взрывозащиты, которые предполагают:

— применение гидрозатворов, огнепреградителей, инертных газов или паровых завес;

— защиту аппаратов от разрушения при взрыве с помощью устройств аварийного сброса давления (предохранительные мембраны и клапаны, быстродействующие задвижки).

Рассмотрим средства обеспечения безопасности основных элементов систем повышенного давления.

Чтобы внешний вид *трубопровода* указывал на свойства транспортируемого вещества, введена их опознавательная окраска:

Вода	зеленый	Кислоты.	оранжевый
Пар.	красный	Щелочи	фиолетовый
Воздух	синий	Горючие и негорючие жидкости	коричневый
Горючие и негорючие газы	желтый	Прочие вещества	серый

Для выделения вида опасностей на трубопроводы наносят предупреждающие (сигнальные) цветные кольца, количество которых определяет степень опасности. Так, на трубопроводы взрывоопасных, огнеопасных, легковоспламеняющихся веществ наносят красные кольца, безопасных или нейтральных веществ — зеленые, токсичных веществ — желтые. Для обозначения глубокого вакуума, высокого давления, наличия радиации используют также желтый цвет.

Все трубопроводы подвергают гидравлическим испытаниям при пробном давлении на 25 % выше рабочего, но не менее 0,2 МПа.

Кроме испытаний водой на прочность, газопроводы, а также трубопроводы для токсичных газов испытывают на герметичность воздухом при пробном давлении, равном рабочему. Отсутствие утечки воздуха из соединений проверяют мыльным раствором или погружением узлов в ванну с водой.

Газопроводы прокладывают с небольшим уклоном в сторону движения газа, а буферную емкость снабжают в нижней части спускной трубой с краном для систематического удаления водяного конденсата и масла. Паропроводы снабжают конденсатоотводчиками, которые позволяют предотвратить возникновение гидравлических ударов и пробок. Во избежание возникновения напряжений от тепловых деформаций, особенно в наземных газопроводах, устраивают специальные компенсаторы в виде п-образного участка.

Трубопроводы со сжиженными газами прокладывают на расстоянии не менее 0,5 м от трубопроводов с горячим рабочим телом, при этом последние изолируют, а трубопроводы с легко замерзающими газами монтируют рядом с паропроводами и трубопроводами горячей воды. Для предотвращения ожогов кислотами и щелочами фланцевые соединения трубопроводов закрывают защитными кожухами. Трубопроводы для транспортирования жидкого и газообразного кислорода периодически, а также после каждого ремонта обезжиривают. Для обезжиривания используют тетрахлорид углерода, трихлорэтилен или тетрахлорэтилен.

Трубопроводы, по которым в зону реакции к аппарату или устройству подаются горючее и окислитель, оборудуют специальными устройствами: автоматическими задвижками, обратными клапанами, гидравлическими затворами, огне- и взрывопреградителями.

Стационарные сосуды, баллоны для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов: баллоны (ГОСТ 949—73*) изготовляют малой (0,4...12 л), средней (20...50 л) и большой (80...500 л) вместимости. Баллоны малой и средней вместимости изготовляют из углеродистой стали на рабочее давление 10, 15 и 20 МПа, из легированной стали — на 15 и 20 МПа У горловины каждого баллона на сферической части выбивают следующие данные: товарный знак предприятия-изготовителя, дату (месяц и год) изготовления (последнего испытания) и год следующего испытания; вид термообработки (нормализация, закалка с отпуском); рабочее и пробное гидравлическое давление, МПа; вместимость баллона, л; массу баллона, кг; клеймо ОТК; обозначение действующего стандарта.

Наружная поверхность баллонов окрашивается в определенный цвет, на нее наносится соответствующая надпись и сигнальная полоса. Окраска баллонов для наиболее часто используемых промышленных газов приведена ниже:

Газ	Окраска баллонов	Надпись	Цвет надписи	Цвет полосы
Азот	Черная	Азот	Желтый	Коричневый
Аммиак	Желтая	Аммиак	Черный	Коричневый
Аргон, чистый	Серая	Аргон, чистый	Зеленый	Зеленый
Ацетилен	Белая	Ацетилен	Красный	Красный
Водород	Темно-зеленая	Водород	Красный	Красный
Воздух	Черная	Сжатый воздух	Белый	Белый
Гелий	Коричневая	Гелий	Белый	Белый
Кислород	Голубая	Кислород	Черный	Черный
Диоксид углерода	Черная	Диоксид углерода	Желтый	Желтый

Для горючих и негорючих газов, не обозначенных в ПБ03-576—03 (Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением), предусмотрена следующая гамма цветов:

Газы	Окраска баллонов	Надпись	Цвет надписи	Цвет полосы
Все другие горючие газы	Красная	Наименование газа	Белый	Белый
Все другие негорючие газы	Черная	Наименование газа	Желтый	Желтый

Сигнальная окраска баллонов и цистерн позволяет исключить образование смеси «горючее — окислитель» вследствие заполнения емкостей рабочим телом, для которого они не предназначены.

Для предотвращения проникновения в опорожненный баллон посторонних газов, а также для определения (в необходимых случаях), какой газ находится в баллоне, или герметичности баллона и его арматуры заводы-наполнители принимают опорожненные баллоны с остаточным давлением не менее 0,05 МПа, а баллоны для растворенного ацетилена — не менее 0,05 и не более 0,1 МПа.

Взрыв ацетиленовых баллонов может быть вызван старением пористой массы (активированного угля в ацетоне), в которой растворяется ацетилен. Образование смеси горючее — окислитель в кислородных баллонах чаще всего связано с попаданием в его вентиль масел; в водородных — с загрязнением их кислородом, а также с появлением в них окалины.

Действующие в настоящее время Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ03-576—03), распространяются на:

— сосуды, работающие под давлением воды с температурой выше 115°С или другой жидкости с температурой, превышающей температуру кипения при давлении 0,07 МПа, без учета гидростатического давления;

— сосуды, работающие под давлением пара или газа свыше 0,07 МПа;

— баллоны, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше 0,07 МПа;

— цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50°С превышает давление 0,07 МПа;

— цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа создается периодически для их опорожнения;

— барокамеры.

Правила не распространяют своего действия на:

— сосуды, изготавливаемые в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок», утвержденными Госатомэнергонадзором России, а также сосуды, работающие с радиоактивной средой;

— сосуды вместимостью не более 0,025 м^3 независимо от давления, используемые для научно-экспериментальных целей;

— сосуды и баллоны вместимостью не более 0,025 м^3, у которых произведение давления в МПа на вместимость в м^3 не превышает 0,02;

— сосуды, работающие под давлением, создающимся при взрыве внутри их в соответствии с технологическим процессом;

— сосуды, работающие под вакуумом;

— сосуды, состоящие из труб с внутренним диаметром не более 150 мм без коллекторов, а также с коллекторами, выполненными из труб с внутренним диаметром не более 150 мм, а также ряд других типов сосудов (сосуды, устанавливаемые на морских и речных судах, самолетах и других летательных аппаратах; воздушные резервуары тормозного оборудования подвижного состава железнодорожного транспорта, автомобилей и других средств передвижения; сосуды специального назначения военного ведомства и т. д.);

— сосуды, на которые распространяется действие «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», до пуска их в эксплуатацию должны быть зарегистрированы в органах Госгортехнадзора России. Исключение составляют:

— сосуды 1-й группы, работающие при температуре стенки не выше 200°С, у которых произведение давления в МПа на вместимость в м^3 не превышает 0,05, а также сосуды 2, 3, 4-й групп, работающие при указанной выше температуре, у которых произведение давления в МПа на вместимость в м^3 не превышает 0,1 (к первой группе относятся сосуды, содержащие взрывоопасные и пожароопасные среды, или вещества 1-го и 2-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007 независимо от температуры стенки и расчетного давления (выше 0,07 МПа). 2, 3, 4-я группы сосудов определяются расчетным давлением и температурой стенки, при условии, что сосуд не содержит среду, указанную для группы 1);

— аппараты воздухоразделительных установок и разделения газов, расположенные внутри теплоизоляционного кожуха;

— резервуары воздушных электрических переключателей;

— бочки для перевозки сжиженных газов, баллоны вместимостью до 100 л включительно, установленные стационарно, а также предназначенные для транспортировки и (или) хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов;

— генераторы (реакторы) для получения водорода, используемые гидрометеорологической службой;

— сосуды, включенные в закрытую систему добычи нефти и газа (от скважин до магистрального трубопровода);

— сосуды для хранения или транспортировки сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, находящиеся под давлением периодически при их опорожнении;

— сосуды со сжатым и сжиженным газами, предназначенные для обеспечения топливом двигателей транспортных средств, на которых они установлены;

— сосуды, установленные в подземных горных выработках.

Для обеспечения безопасной и безаварийной эксплуатации сосуды и аппараты, работающие под давлением, должны подвергаться техническому освидетельствованию после монтажа и пуска в эксплуатацию периодически в процессе эксплуатации, а в необходимых случаях и внеочередному освидетельствованию.

Объемы, методы и периодичность технического освидетельствования оговариваются изготовителем и указываются в инструкциях по монтажу и эксплуатации. В случае отсутствия таких указаний техническое освидетельствование проводится по указанию «Правил» ПБ10-115—96. Так, для сосудов, не подлежащих регистрации в органах Госгортехнадзора России, установлена следующая периодичность: гидравлические испытания пробным давлением один раз в восемь лет, наружный и внутренний осмотр один раз в два года при работе со средой, вызывающей разрушение и физико-химическое превращение материала (коррозия и т. п.) со скоростью не более 0,1 мм в год и 12 месяцев при скорости более 0,1 мм в год.

Сроки и объемы освидетельствований других типов сосудов и баллонов, зарегистрированных и не зарегистрированных в органах Госгортехнадзора России, также устанавливаются в зависимости от условий эксплуатации (скорость физико-химических превращений) и типа сосуда.

При гидравлических испытаниях емкость заполняют водой, после чего давление воды плавно повышают до значений пробного давления, указанного в табл. 12.7.

Применяемая вода должна иметь температуру не ниже 5 и не выше 40°С, если иное не оговорено в паспорте на сосуд. Разность температур стенки сосуда и окружающего воздуха во время испытаний не должна вызывать конденсации влаги на поверхности стенок сосуда. Использование сжатого воздуха или другого газа для подъема давления не допускается.

Давление в испытываемом сосуде контролируется двумя манометрами одного типа, предела измерения, одинаковых классов точности, цены деления. Время выдержки пробного давления устанавливается разработчиком и обычно определяется толщиной стенки сосуда. Так, при толщине стенки до 50 мм оно составляет 10 мин, при 50—100 мм — 20 мин, свыше 100 мм — 30 мин. Для литых неметаллических и многослойных сосудов независимо от толщины стенки время выдержки составляет 60 мин.

Таблица 12.7. **Давление при гидравлических испытаниях**

Тип сосуда	Пробное давление, МПа	Примечание
Кроме литых	$P_{пр} = 1{,}25\ K\ P^*_{рас}$	
Литые	$P_{пр} = 1{,}50\ K\ P_{рас}$	
Из неметаллических материалов	$P_{пр} = 1{,}30\ K\ P_{рас}$	Ударная вязкость материала более 20 Дж/см^2
Из неметаллических материалов	$P_{пр} = 1{,}60\ K\ P_{рас}$	Ударная вязкость материала менее 20 Дж/см^2
Криогенные сосуды	$P_{пр} = 1{,}25\ P_{рас} - 0{,}1$ МПа	Наличие вакуума в изоляционном пространстве
Металлопластиковые	$P_{пр} = 1{,}25K_м + a(1 - K_м)P_{рас}K$	

* $K = \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t}$ σ_{20}, σ_t — допустимое напряжение для материала сосуда или его элемента соответственно при 20°С и расчетной температуре, МПа; $K_м$ — отношение массы металлоконструкции к общей массе сосуда; $a = 1{,}3$ — для неметаллических материалов с ударной вязкостью более 20 Дж/см^2, $a = 1{,}6$ — для неметаллических материалов с ударной вязкостью 20 Дж/см^2 и менее.

После выдержки под пробным давлением оно снижается до расчетного, при котором производят осмотр наружной поверхности сосуда, всех его разъемных и сварных соединений. Сосуд считается выдержавшим гидравлическое испытание, если не обнаружено:

— течи, трещин, слезок, потения в сварных соединениях и на основном металле;

— течи в разъемных соединениях;

— видимых остаточных деформаций, падения давления по манометру.

Гидравлическое испытание допускается заменять пневматическим при условии контроля этого испытания методом акустической эмиссии или другим, согласованным с Госгортехнадзором России.

Техническое освидетельствование установок, работающих под давлением, зарегистрированных в органах Госгортехнадзора, производит технический инспектор, а установки, не зарегистрированные в этих органах,— лицо, на которое приказом по предприятию возло-

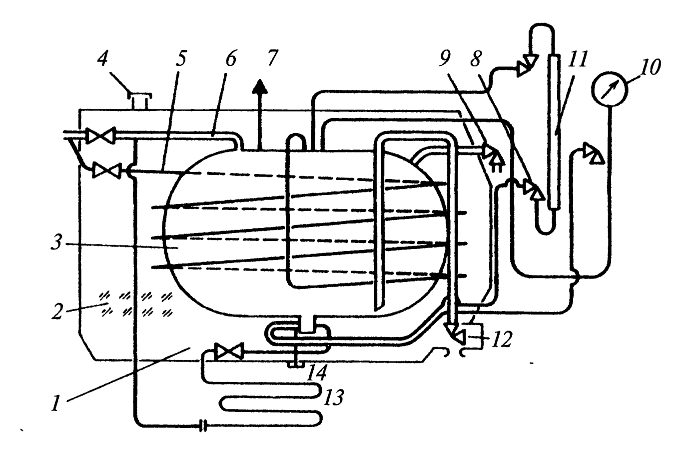


Рис. 12.8. Криогенный резервуар:

1 — кожух; *2* — изоляция; *3* — сосуд для криогенной жидкости; *4* — предохранительная мембрана; *5* — змеевик; *6* — дренажная труба; *7* — предохранительный клапан; *8* — вентиль; *9* — заправочный вентиль; *10* — манометр; *11* — указатель уровня; *12* — вентиль для слива; *13* — испаритель; *14* — пробка для продувки отстойника

жен надзор за безопасностью эксплуатации установок, работающих под давлением.

Сжиженные газы хранят и перевозят в стационарных и транспортных сосудах — цистернах (*сосуды для сжиженных газов)*, которые в случае хранения криогенных жидкостей снабжены высокоэффективной тепловой изоляцией.

Криогенные сосуды номинальным объемом 6,3...40 л изготовляют в соответствии с ТУ 26-04-622—87.

Стационарные резервуары изготовляют объемом до 500 тыс. л и более. В зависимости от конструкции они бывают цилиндрической (горизонтальные и вертикальные) и шарообразной формы. Основные параметры и размеры внутренних резервуаров для сжиженных газов регламентированы ТУ 26-04-622—87.

Транспортные сосуды (цистерны) обычно имеют объем до 35 тыс. л. Принципиальная схема такого резервуара представлена на рис. 12.8. Низкие температуры, при которых эксплуатируются внутренние сосуды криогенных резервуаров и цистерн, накладывают ограничения на материалы, используемые при их изготовлении.

В промышленности в настоящее время используют *газгольдеры* низкого и высокого давления. Газгольдеры низкого давления — это сосуды переменного объема, давление газа в которых практически всегда остается постоянным. Из газгольдеров высокого давления расходуемый газ подается сначала на редуктор, а затем к потребителю.

Газгольдеры высокого давления обычно собирают из баллонов большого объема, изготовляемых на рабочее давление меньше 25 МПа по ГОСТ 9731—79* и на 32 и 40 МПа по ГОСТ 12247—80*.

Для управления работой и обеспечения безопасных условий эксплуатации сосуды в зависимости от назначения должны быть оснащены:

— запорной или запорно-регулирующей арматурой;
— приборами для измерения давления;
— приборами для измерения температуры;
— предохранительными устройствами;
— указателями уровня жидкости.

Арматура должна иметь следующую маркировку:

— наименование или товарный знак изготовителя;
— условный проход;
— условное давление, МПа (допускается указывать рабочее давление и допустимую температуру);
— направление потока среды;
— марку материала корпуса.

На маховике запорной арматуры должно быть указано направление его вращения при открывании или закрывании арматуры. Арматура с условным проходом более 20 мм, изготовленная из легированной стали или цветных металлов, должна иметь паспорт установленной формы, в котором должны быть указаны данные по химсоставу, механическим свойствам, режимам термообработки и результатам контроля качества изготовления неразрушающими методами.

Каждый сосуд и самостоятельные полости с разными давлениями должны быть снабжены манометрами прямого действия. Манометр устанавливается на штуцере сосуда или трубопроводе между сосудом и запорной арматурой. Манометры должны иметь класс точности не ниже 2,5— при рабочем давлении сосуда до 2,5 МПа, 1,5— при рабочем давлении сосуда свыше 2,5 МПа. Манометр должен выбираться с такой шкалой, чтобы предел измерения рабочего давления находился во второй трети шкалы. На шкале манометра владельцем сосуда должна быть нанесена красная черта, указывающая рабочее давление в сосуде. Манометр должен быть установлен так, чтобы его показания были отчетливо видны обслуживающему персоналу. Номинальный диаметр корпуса манометров, устанавливаемых на высоте до 2 м от уровня площадки наблюдения за ним, должен быть не менее 100 мм, на высоте от 2 до 3 — не менее 160 мм. Установка манометров на высоте более 3 м от уровня площадки не разрешается.

Между манометром и сосудом должен быть установлен трехходовый кран или заменяющее устройство, позволяющее проводить периодическую проверку манометра с помощью контрольного.

Проверка манометров с их опломбированием и клеймением должна производиться не реже одного раза в 12 месяцев. Кроме того, не реже одного раза в 6 месяцев владельцем сосуда должна производиться дополнительная проверка рабочих манометров контрольными.

Сосуды, работающие при изменяющейся температуре стенок, должны быть снабжены приборами для контроля скорости и равномерности прогрева по длине и высоте сосуда и реперами для контроля тепловых перемещений.

Необходимость оснащения сосудов указанными приборами и реперами, а также допустимая скорость прогрева и охлаждения сосудов определяются разработчиком проекта и указываются изготовителем в паспортах сосудов или инструкциях по монтажу и эксплуатации.

Каждый сосуд должен быть снабжен предохранительными устройствами от повышения давления выше допустимого значения.

В качестве предохранительных устройств применяются:

— пружинные предохранительные клапаны;

— рычажно-грузовые предохранительные клапаны;

— импульсные предохранительные устройства, состоящие из главного предохранительного клапана и управляющего импульсного клапана прямого действия;

— предохранительные устройства с разрушающимися мембранами (предохранительные мембраны);

— другие устройства, применение которых согласовано с Ростехнадзором России.

Распространенным средством защиты технологического оборудования от разрушения при взрывах являются предохранительные мембраны (разрывные, ломающиеся, срезные, хлопающие, специальные) и взрывные клапаны (рис. 12.9, 12.10).

Достоинством *предохранительных мембран* является предельная простота их конструкции, что характеризует их как самые надежные из всех существующих средств взрывозащиты. Кроме того, мембраны практически не имеют ограничений по пропускной способности. Существенным недостатком предохранительных мембран является то, что после срабатывания защищаемое оборудование остается открытым, это, как правило, приводит к остановке технологического процесса и к выбросу в атмосферу всего содержимого аппарата. При разгерметизации технологического оборудования нельзя исключить возможность вторичных взрывов, которые бывают обусловлены подсосом атмосферного воздуха внутрь аппарата через открытое отверстие мембраны.

Использование на технологическом оборудовании *взрывных клапанов* дает возможность устранить эти негативные последствия, так как после срабатывания и сброса отверстие вновь закрывается и та-

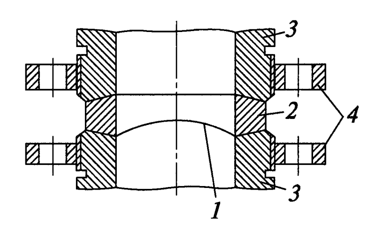


Рис. 12.9. Линзовый зажим разрывной мембраны:

1 — мембрана; *2* — коническая шайба; *3* — торцы сбросной магистрали; *4* — соединительные фланцы

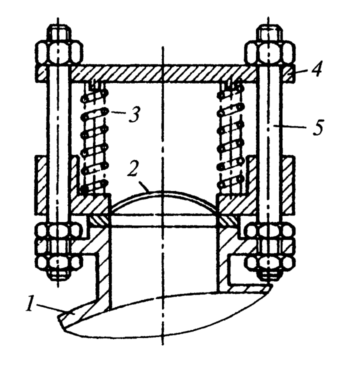


Рис. 12.10. Взрывной клапан с наружными периферийными пружинами:

1 — защищаемый сосуд; *2* — запорный диск; *3* — пружина; *4* — кольцо; *5* — штанга

ким образом не вызывает необходимости немедленной остановки оборудования и проведения восстановительных работ. К недостаткам взрывных клапанов следует отнести их большую инерционность по сравнению с мембранами, сложность конструкции, а также недостаточную герметичность, ограничивающую область их применения (они могут использоваться для взрывозащиты оборудования, работающего при нормальном давлении).

Наиболее распространенным средством защиты технологического оборудования от взрыва являются *предохранительные клапаны.* Однако и они имеют ряд существенных недостатков, в основном определяющихся большой инерционностью подвижных деталей клапанов.

Расчет и подбор предохранительного клапана заключается в определении количества газа (жидкости), вышедшего из сосуда, аппарата, или площади проходного сечения предохранительного устройства, а также расчете времени истечения при заданном конечном давлении. Давление P_{max} защищаемой емкости не должно превышать значений, указанных ниже:

$P_р$, МПа	P_{max}, МПа
< 0,3	$< P_р + 0{,}05$
< 6,0	$< 1{,}15P_р$
> 6,0	$< 1{,}1P_р$

Согласно ГОСТ 12.2.085—02, при расчете массового расхода *M* газа через предохранительное устройство необходимо использовать выра-

жения $M = AF\sqrt{P_i X_i}\,\psi(P'/P_i)$; для жидкости $M = AF\sqrt{2X_i(P_i - P')}$, где A и F — коэффициент расхода и площадь сечения устья сбросного отверстия, м^2; X_i — плотность рабочей среды в сосуде или аппарате, кг/м^3; P' и P_i — абсолютные давления, Па, соответственно в устье сбросного отверстия и сосуде или аппарате; комплекс

$$\psi = \psi(P'/P_i) = \sqrt{\frac{2k}{k-1}\left[\left(\frac{P'}{P_i}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P'}{P_i}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right]} \text{ при } \left(\frac{P'}{P_i}\right) > \pi^*,$$

$$\psi(P'/P_i) = \sqrt{k\left[\frac{2}{k+1}\right]^{\frac{k+1}{k-1}}}$$ при $(P'/P_i) \le \pi^*$ — сверхзвуковой режим (здесь k — показатель адиабаты; π^* — критическое отношение давления, равное $\left[\frac{2}{k+1}\right]^{\frac{k}{k-1}}$).

Для подбора предохранительного клапана или мембраны необходимо по заданному массовому расходу, который определяется как максимальный аварийный расход среды, определить площадь проходного сечения клапана.

Важной характеристикой предохранительного устройства является время истечения. При истечении газа из сосуда или аппарата ограниченной постоянной емкости через сбросное отверстие постоянного сечения реализуется звуковой режим истечения, если давление $P_i \ge P''/\pi^*$, где P'' — давление в среде, в которую происходит истечение. В этом случае время истечения

$$\tau = \tau_i - \tau_0 = \frac{2}{n-1}\frac{V_0}{AF_0\psi\cdot\sqrt{R\Theta_0}}\left[\left(\frac{P_0}{P_i}\right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1\right].$$

Если истечение происходит в дозвуковой области, то время истечения

$$\tau = \frac{V_0}{nAF_0\sqrt{R\Theta_0}}\left(\frac{P_0}{P_i}\right)^{\frac{n-1}{n}} \int\limits_{P'/P_0}^{P'/P_i} \frac{d(P'/P_i)}{\psi_i(P'/P_i)^{\frac{n+1}{2n}}}.$$

Здесь нулевым индексом отмечены параметры в начальный момент времени.

Значение коэффициента расхода предохранительного устройства зависит от конструктивных особенностей предохранительного устройства и указывается в паспорте на него. Если таковые данные отсутствуют, то обычно полагают $A = \sqrt{\xi}$, где ξ — коэффициент сопротивления предохранительного клапана.

Порядок и сроки проверки исправности действия предохранительных устройств в зависимости от условий технологического процесса должны быть указаны в инструкции по эксплуатации предохранительных устройств, утвержденных владельцем сосуда в установленном порядке.

Защита от статического электричества. Величина потенциалов зарядов искусственного статического электричества на ременных передачах и лентах конвейеров может достигать 40 кВ, при механической обработке пластмасс и дерева — до 30 кВ, при распылении красок — до 12 кВ. При соответствующих условиях происходит пробой воздушной прослойки, сопровождающийся искровым разрядом (пробивное сопротивление абсолютно сухого воздуха составляет 3000 кВ/м), что может инициировать взрыв или пожар.

Основные мероприятия, применяемые для защиты от статического электричества производственного происхождения, включают методы, исключающие или уменьшающие интенсивность генерации зарядов, и методы, устраняющие образующиеся заряды. Интенсивность генерации зарядов можно уменьшить соответствующим подбором пар трения или смешиванием материалов таким образом, что в результате трения один из смешанных материалов наводит заряд одного знака, а второй — другого. В настоящее время создан комбинированный материал из нейлона и дакрона, обеспечивающий защиту от статического электричества по этому принципу.

Изменением технологического режима обработки материалов также можно добиться снижения количества генерируемых зарядов (уменьшение скоростей обработки, скоростей транспортирования и слива диэлектрических жидкостей, уменьшение сил трения).

При заполнении сыпучими веществами или жидкостями диэлектриками резервуаров на входе в них применяют релаксационные емкости, чаще всего в виде заземленного участка трубопровода увеличенного диаметра, обеспечивающего стекание всего заряда статического электричества на землю.

Образующиеся заряды статического электричества устраняют чаще всего путем заземления электропроводных частей производственного оборудования. Сопротивление такого заземления должно быть не более 100 Ом. При невозможности устройства заземления практикуется повышение относительной влажности воздуха в поме-

щении. Возможно увеличить объемную проводимость диэлектрика, для чего в него вносят графит, ацетиленовую сажу, алюминиевую пудру, а в жидкие диэлектрики — специальные добавки. Для ряда машин и агрегатов нашли применение нейтрализаторы статического электричества (коронного разряда, радиоизотопные, аэродинамические и комбинированные). Во всех типах этих устройств путем ионизации воздуха вблизи элемента конструкции, накапливающего заряд статического электричества, образуются ионы, в том числе со знаком, противоположным знаку заряда, что и вызывает его нейтрализацию.

К средствам индивидуальной защиты от статического электричества относятся электростатические халаты и специальная обувь, подошва которой выполнена из кожи либо электропроводной резины, а также антистатические браслеты.

Значительно большую опасность представляет атмосферное статическое электричество, эффективным средством защиты от которого является *молниезащита.* Она включает комплекс мероприятий и устройств, предназначенных для обеспечения безопасности людей, предохранения зданий, сооружений, оборудования и материалов от взрывов, загораний и разрушений, возможных при воздействии молний.

Для всех зданий и сооружений, не связанных с производством и хранением взрывчатых веществ, а также для линий электропередач и контактных сетей проектирование и изготовление молниезащиты должно выполняться согласно «Инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений» РД 34.21.122—87.

По степени защиты зданий и сооружений от воздействия атмосферного электричества молниезащита подразделяется на три категории. Категория молниезащиты определяется назначением зданий и сооружений среднегодовой продолжительностью гроз, а также ожидаемым числом поражений здания или сооружения молнией в год.

Ожидаемое годовое число поражений молнией прямоугольных зданий и сооружений

$$N = (S + 6h_{зд})(L - 6h_{зд}) - 7{,}7h_{зд}^2 n 10^{-6},$$

для сосредоточенных зданий и сооружений (башен, вышек, дымовых труб и т. д.)

$$N = 9\pi h_{зд}^2 n 10^{-6},$$

где S, L — ширина и длина зданий (для зданий и сооружений сложной конфигурации в плане при расчете N в качестве S и L принимают ширину и длину наименьшего описанного прямоугольника), м; $h_{зд}$ — наибольшая высота здания или сооружения, м; n — среднегодовое

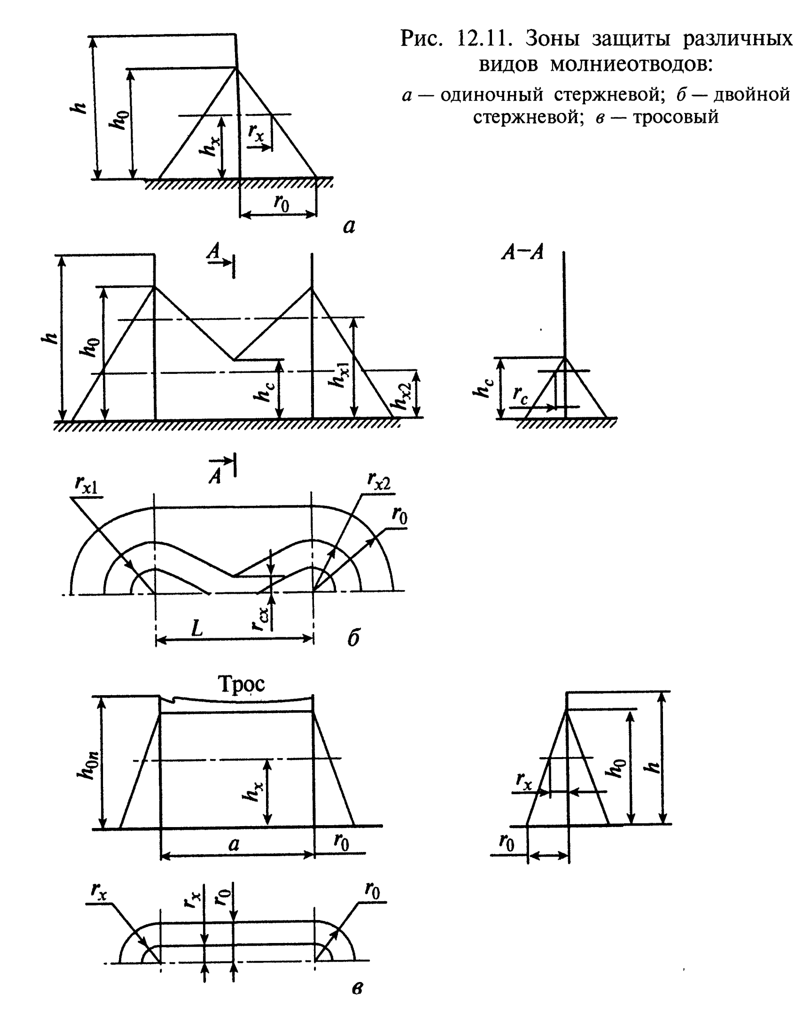


Рис. 12.11. Зоны защиты различных видов молниеотводов:

а — одиночный стержневой; *б* — двойной стержневой; *в* — тросовый

число ударов молний в 1 км^2 земной поверхности (удельная плотность ударов молний в землю) в месте расположения зданий или сооружений.

Информацию о средней за год продолжительности гроз можно получить в местном отделении Росгидромета либо воспользоваться картой СССР, представленной в РД 34.21.122—87.

Здания и сооружения, отнесенные к I и II категориям молниезащиты, должны быть защищены от прямых ударов молнии, вторичных проявлений молнии и заноса высокого потенциала через наземные (надземные) и подземные металлические коммуникации. Здания и

сооружения, отнесенные к III категории молниезащиты, должны быть защищены от прямых ударов молнии и заноса высокого потенциала через наземные (надземные) металлические коммуникации.

Для создания зон защиты применяют одиночный стержневой молниеотвод; двойной стержневой молниеотвод; многократный стержневой молниеотвод; одиночный или двойной тросовый молниеотвод. В качестве примера на рис. 12.11 приведена конфигурация и размеры зон защиты некоторых типов молниеотводов.

12.4. ЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ ЧС

Одним из основных способов защиты людей в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени являются защитные сооружения гражданской обороны. Они подразделяются на убежища и противорадиационные укрытия. **Убежища** защищают от оружия массового поражения, от действия отравляющих веществ и бактериальных средств, от высоких температур и вредных газов в зонах сплошных и массовых пожаров. К убежищам предъявляется ряд определенных требований.

Ограждающие конструкции убежищ должны быть прочными и обеспечивать ослабление ионизирующих и других видов излучений до допустимого уровня. Они должны обеспечивать защиту от прогрева при пожарах.

Убежища следует размещать в максимальной близости от мест пребывания людей. Местоположение убежищ связано с их вместимостью и зависит от плотности заселения рассматриваемой территории, этажности зданий и других факторов.

Убежища оборудуются в заглубленной части зданий (встроенные убежища) или располагаются вне зданий (отдельно стоящие убежища). Под убежища могут приспосабливаться заглубленные сооружения (подвалы, тоннели и т. п.), подземные выработки (шахты, рудники).

По защитным свойствам убежища подразделяются на классы в зависимости от расчетной величины давления ударной волны. К убежищам каждого класса предъявляются требования по ослаблению радиационного воздействия, а также по защите от взрывов обычных боеприпасов (снарядов, авиабомб).

Типовое убежище состоит из основного помещения, шлюзовых камер, фильтровентиляционной камеры и санитарного узла. Оно должно иметь не менее двух входов и аварийный выход, которые оборудуются защитно-герметическими дверями. Дополнительно, в зависимости от вместимости и других факторов, убежища можно обору-

довать помещениями для размещения дизельной электростанции, тамбурами-шлюзами, медицинской комнатой и т. д.

В убежищах применяются фильтровентиляционные установки с электрическим и/или ручным приводом для очистки наружного воздуха от пыли радиоактивных и отравляющих веществ, от бактериальных средств.

Убежища оборудуются системами водоснабжения, канализации, отопления и освещения, средствами связи. Каждое убежище должно быть оснащено комплексом средств для ведения разведки на зараженной местности, инвентарем (включая аварийный), средствами аварийного освещения.

Противорадиационные укрытия защищают людей от радиоактивного заражения и светового излучения, ослабляют воздействие ударной волны и проникающей радиации ядерного взрыва. Оборудуются они обычно в подвальных или наземных этажах зданий и сооружений.

Следует помнить, что различные здания и сооружения по-разному ослабляют проникающую радиацию: помещения первого этажа деревянных зданий ослабляют ее в 2—3 раза, помещения первого этажа каменных зданий в 10 раз, помещения верхних этажей многоэтажных зданий в 50 раз, средняя часть подвала многоэтажного каменного здания в 500—1000 раз. Наиболее пригодны для противорадиационных укрытий внутренние помещения каменных зданий с капитальными стенами и небольшой площадью проемов.

Для защиты людей необходимо использовать средства индивидуальной защиты. Они предназначены для защиты от попадания внутрь организма, на кожные покровы и одежду радиоактивных и отравляющих веществ и бактериальных средств. Они делятся на средства защиты органов дыхания и средства защиты кожи. К ним относятся также индивидуальный противохимический пакет и аптечка индивидуальная.

Коллективные и индивидуальные средства защиты не всегда могут обеспечивать стопроцентную защиту персонала и населения в условиях чрезвычайных ситуаций. В этих случаях очень важным является быстрое и умелое оказание первой помощи пострадавшим.

Первая помощь — это комплекс мероприятий, направленных на восстановление или сохранение жизни и здоровья пострадавшего, осуществляемых не медицинскими работниками (взаимопомощь) или самим пострадавшим (самопомощь). Основным условием успеха при оказании первой помощи является срочность ее оказания, знания и умение оказывающего первую помощь.

Прежде чем непосредственно приступить к оказанию первой медицинской помощи, необходимо устранить воздействие на организм повреждающих факторов, угрожающих здоровью и жизни пострадавшего (вывести из зараженной атмосферы, освободить от действия электрического тока, погасить горящую одежду), после чего необходимо оценить состояние пострадавшего. На этом же этапе определяется характер и тяжесть полученной травмы, намечается последовательность мероприятий по его спасению.

Далее необходимо выполнить мероприятия по спасению пострадавшего: восстановить проходимость дыхательных путей, провести искусственное дыхание, наружный массаж сердца, остановить кровотечение, иммобилизовать место перелома, наложить повязку и т. д. До прибытия медицинского работника необходимо поддерживать основные жизненные функции организма пострадавшего. При возможности принять меры для транспортировки пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.

Для правильной организации оказания первой помощи должны выполняться следующие условия:

— на каждом предприятии, в цехе, участке, отдельных помещениях и т. п. в специально отведенных местах должны находиться аптечки или сумки первой помощи. В каждой смене должны быть выделены лица, ответственные за исправное состояние приспособлений и средств для оказания первой помощи и за систематическое их пополнение по мере расходования или истечения сроков хранения;

— помощь пострадавшему, оказываемая не медицинскими работниками, не должна заменять помощи со стороны медицинского персонала и должна оказываться лишь до прибытия врача; эта помощь должна ограничиваться строго определенными видами; мероприятия по оживлению, временная остановка кровотечения, перевязка раны, ожога или отморожения, иммобилизация перелома, переноска и перевозка пострадавшего.

Защитные мероприятия при ЧС проводят штатное подразделение (штаб объекта) нештатные добровольные формирования гражданской обороны (ГО) объекта.

12.5. ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧС

Ликвидация чрезвычайной ситуации осуществляется силами и средствами предприятий, учреждений и организаций независимо от их организационно-правовой формы, органов местного самоуправления, органов исполнительной власти субъектов РФ, на территории

которых сложилась чрезвычайная ситуация, под руководством соответствующих комиссий по чрезвычайным ситуациям.

К ликвидации ЧС могут привлекаться Вооруженные Силы РФ, Войска гражданской обороны РФ, другие войска и воинские формирования в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Ликвидация чрезвычайной ситуации считается завершенной по окончании проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Спасательные работы. Спасательные и другие неотложные работы в очагах поражения включают:

— разведку очага поражения, в результате которой получают истинные данные о сложившейся обстановке;

— локализацию и тушение пожаров, спасение людей из горящих зданий;

— розыск и вскрытие заваленных защитных сооружений, розыск и извлечение из завалов пострадавших;

— оказание пострадавшим медицинской помощи, эвакуацию пораженных в медицинские учреждения, эвакуацию населению из зон возможного катастрофического воздействия (затопления, радиационного и другого заражения);

— санитарную обработку людей, обеззараживание транспорта, технических систем, зданий, сооружений и промышленных объектов;

—неотложные аварийно-восстановительные работы на промышленных объектах.

Разведка в кратчайшие сроки должна установить характер и границы разрушений и пожаров, степень радиоактивного и иного вида заражения в различных районах очага, наличие пораженных людей и их состояние, возможные пути ввода спасательных формирований и эвакуации пострадавших. По данным разведки определяют объемы работ, уточняют способы ведения спасательных и аварийных работ, разрабатывают план ликвидации последствий чрезвычайного события.

В планах ликвидации последствий намечают конкретный перечень неотложных работ, устанавливают их очередность. С учетом объемов и сроков проведения спасательных работ определяют силы и средства их выполнения. В первую очередь в плане необходимо предусматривать работы, направленные на прекращение воздействия внешнего фактора на объект (если это возможно), локализацию очага поражения, постановку средств, препятствующих распространению опасности по территории объекта. Для своевременного и успешного проведения спасательных работ планируется проведение целого ряда неотложных мероприятий:

— устройство при необходимости проездов в завалах и на загрязненных участках; оборудование временных путей движения транспорта (так называемых колонных путей);

— локализация аварий на сетях коммунально-энергетических систем; восстановление отдельных поврежденных участков энергетических и водопроводных сетей и сооружений;

— укрепление и обрушение конструкций зданий и сооружений, препятствующих безопасному проведению спасательных работ.

В качестве спасательных сил используют обученные спасательные формирования, создаваемые заблаговременно, а также вновь сформированные подразделения из числа работников промышленного объекта (подразделений гражданской обороны объекта). Спасательные формирования могут быть подчинены руководству объекта или администрации района, города, области.

В качестве технических средств используют как объектовую технику (бульдозеры, экскаваторы со сменным оборудованием, автомобили-самосвалы, автогрейдеры, моторные и прицепные катки, пневматический инструмент и т. д.), так и спецтехнику, находящуюся в распоряжении спасательных формирований (специальные подъемно-транспортные машины, корчеватели-собиратели, ручной спасательный инструмент, бетоноломы, средства контроля и жизнеобеспечения).

Особое место в организации и ведении спасательных работ занимает поиск и освобождение из-под завалов пострадавших. Их поиск начинается с уцелевших подвальных помещений, дорожных сооружений, уличных подземных переходов, у наружных оконных и лестничных приямков, околостенных пространств нижних этажей зданий; далее обследуется весь, без исключения, участок спасательных работ. Люди могут находиться также в полостях завала, которые образуются в результате неполного обрушения крупных элементов и конструкций зданий. Такие полости чаще всего могут возникать между сохранившимися стенками зданий и неплотно лежащими балками или плитами перекрытий, под лестничными маршами.

Спасение людей, попавших в завалы, начинают с тщательного осмотра завала, при этом устраняют условия, способствующие обрушению отдельных конструкций. Далее пытаются установить связь с попавшими в завалы (голосом или перестукиванием). В завалах проделывают проход сбоку или сверху с одновременным креплением неустойчивых конструкций и элементов. Подходы к людям, находящимся в завале, следует вести как можно быстрее, избегая трудоемких работ и используя полости в завалах, сохранившиеся помещения, коридоры и проходы. Всегда следует помнить, что использование для раз-

борки завалов тяжелой техники резко ускоряет процесс, но может нанести непоправимый вред пострадавшим.

Значительная часть работ в очаге поражения приходится на локализацию и ликвидацию пожаров. Эти работы производят формирования пожаротушения системы гражданской обороны, штатные пожарные части промышленных объектов, пожарные части территориального подчинения во взаимодействии со спасательными формированиями.

Очень важно как можно быстрее оценить обстановку, предугадать развитие пожаров и на этой основе принять правильное решение по их локализации и тушению. При локализации на пути распространения огня (с учетом направления ветра) устраивают отсечные полосы: на направлении распространения пожара разбирают или обрушивают сгораемые конструкции зданий, полностью удаляют из отсечной полосы легковозгораемые материалы и сухую растительность: для создания отсечной полосы шириной до 50—100 м необходима дорожная техника (бульдозеры, грейдеры и т. д.).

Пожарные подразделения в первую очередь тушат и локализуют пожары там, где находятся люди. Одновременно с тушением пожаров эвакуируют людей. При отыскивании и эвакуации из горящего здания людей можно пользоваться некоторыми правилами:

— пожар в здании распространяется преимущественно по лифтовым шахтам, лестничным клеткам, по вентиляционным коробам;

— целые оконные проемы в горящем здании свидетельствуют о том, что в этом помещении нет людей или они не в состоянии добраться до окон;

— сильное пламя в оконных проемах свидетельствует о полном развитии пожара при большом количестве сгораемых материалов;

— сильное задымление без пламени — признак быстрого распространения огня скрытыми путями и по конструкциям; если при этом дым густой и темный, то это означает горение при недостатке кислорода.

Работам по ликвидации очагов поражения АХОВ, как правило, предшествуют или проводятся одновременно мероприятия, направленные на снижение величины выброса и растекания АХОВ на местности, уменьшение интенсивности испарения ядовитых веществ и снижение глубины распространения зараженного воздуха. Для этого проводят работы:

— по ограничению и приостановлению выброса АХОВ путем перекрытия кранов и задвижек на магистралях подачи АХОВ к месту аварии, заделыванию отверстий на магистралях и емкостях, перекачке жидкости из аварийной емкости в резервную;

— обваловыванию мест разлива АХОВ, устройству ловушек при отсутствии обваловки или поддонов для емкостей;

— сбору разлившейся АХОВ в закрытые резервные емкости (при наличии обваловки или поддонов);

— постановке отсечных водяных завес на пути распространения облака зараженного воздуха (для снижения глубины его распространения);

— изоляции зеркала разлива АХОВ пеной, поглощению ядовитых веществ адсорбентами.

После проведения этих мероприятий обеззараживают территории.

План ремонтно-восстановительных работ. Готовность предприятия к выполнению восстановительных работ оценивается наличием проектно-технической документации по вариантам восстановления, обеспеченностью рабочей силой и материальными ресурсами.

Планирование восстановления работоспособности предприятия может предусматривать как первоочередное восстановление, так и капитальное. Первое может быть выполнено силами самого объекта, создающего для этих целей восстановительные бригады. В проекте восстановления освещаются следующие вопросы:

— объем работ по восстановлению с расчетом потребностей в рабочей силе, материалах, строительной технике, оборудовании, деталях, инструменте;

— оптимальные инженерные решения по восстановлению работоспособности предприятия;

— календарный план или сетевой график восстановительных работ, очередность восстановления цехов, исходя из важности их в выпуске основной продукции;

— состав восстановительных бригад и др.

Методика определения сроков проведения восстановительных работ изложена в СН 440—72.

12.6 ЗАЩИТА ОТ ТЕРРОРИЗМА

Террор (терроризм) — насильственные действия устрашения конкурентов и населения, подавление государственной воли.

Непосредственное совершение террористического преступления в условиях техносферы возможно в следующих формах:

— захват, повреждение или уничтожения объекта экономики, транспортного средства и т. п.;

— организация взрыва и поджога или применения радиоактивных, биологических и химических отравляющих веществ;

— причинение вреда жизни, здоровью или имуществу людей путем создания условий для аварий техногенного характера;

— иные действия, создающие опасность жизни людей и причинения значительного материального ущерба.

По виду применяемых средств, используемых при организации терроризма, различают:

— *ядерный терроризм*, при котором наиболее масштабным источником преступления могут быть объемы атомной промышленности и АЭС, а также пункты захоронения радиоактивных отходов. Однако многоуровневая система технических, административных и иных мер защиты делают эти объекты малоуязвимыми. Большую опасность представляют изотопные источники стронция, цезия, кобальта, которые применяют в медицине и других отраслях промышленности. Изотопы из них, распыленные на большой территории, могут вызвать панику и потребуют больших материальных затрат на дезактивацию;

— *химический терроризм*, при котором могут быть использованы многие промышленные и бытовые токсические вещества. Весьма доступны хлор, аммиак, ртуть и др. Эффективными мерами защиты являются контроль и учет использования этих веществ на предприятиях, их производящих и использующих, а также соблюдение нормативных требований при их транспортировании;

— *биологический терроризм* — наиболее опасный вид терроризма. Обнаружить факт применения опасных биологических веществ можно только после начала заболевания, на что уходят дни или недели. При заражении животных вспышки болезни можно отнести к условиям их природного обитания.

Местами проведения химического и биологического террора могут стать объекты инфраструктуры с большим скоплением людей: станции метрополитена, аэропорты и железнодорожные вокзалы, крупные офисные здания, магазины и супермаркеты, закрытые спортивные и концертные залы системы водоснабжения больших городов, партии продуктов питания;

— *технический терроризм* — повреждения объектов экономики, транспортных средств, гидротехнических сооружений и т. п., которые могут приводить к высвобождению веществ и энергии, значительно более опасных, чем их первичное воздействие. Так происходит при подрыве зданий и сооружений, нефти- и газохранилищ, плотин, мостов и т. п.

Защита от технического терроризма основана на повышении взрывопожарозащищенности объектов экономики, широком применении предохранительных и контрольных устройств, а также на не-

укоснительном соблюдении режима эксплуатации и охранных мероприятий;

— *информационный терроризм* — нападение на компьютерные сети. Наиболее уязвимыми являются телекоммуникации, авиационные диспетчерские, финансовые и правительственные информационные системы, компьютерные сети в энергетике, а также автоматизированные системы управления в вооруженных силах.

Комплекс мероприятий, направленных на противодействие терроризму на объектах экономики:

— *правовые* — доведение до персонала объекта требований федеральных законов и постановлений;

— *информационные* — издание приказов, распоряжений о соблюдении установленных правил, назначении ответственных лиц за проведение защитных мероприятий;

— *технические* — установка сигнализаций, аудио-, видеозаписи, шлагбаумов, мест парковки автомобилей не ближе 100 м от мест массового пребывания людей и т. п.;

— *организационные* — определение объема предупредительных мер; назначение круга лиц, ответственных за соблюдение пропускного режима, обходы территории объекта и т. д.; проверка поступающего имущества; проведение тщательного подбора сотрудников, особенно в подразделения охраны, обслуживающего персонала (дежурных, ремонтников, уборщиков и т. д.); составление инструкций; организация обучения персонала и планирование его действий при угрозе совершения терактов.

Важными мерами защиты от терроризма являются регулярные осмотры территорий и помещений объектов с целью своевременного обнаружения посторонних пожаро- и взрывоопасных предметов.

На открытой территории, кроме специфических мест для каждого конкретного объекта, в обязательном порядке необходимо осматривать: канализационные люки, сливные решетки, цокольные и подвальные ниши, мусоросборники и урны, закрытые киоски, сараи, распределительные телефонные и электрощиты, водосливные трубы и посторонние машины. Перед осмотром помещений необходимо иметь план помещения и знать расположение комнат, лестниц, ниш, силовых и телефонных коммуникаций, вентиляции, канализации, чтобы заранее предположить места возможных закладок.

В помещениях тщательного осмотра требуют такие места, как подвесные потолки, вентиляционные шахты, внутренние электрощитовые и распределительные коробки, места за батареями отопления, осветительные плафоны, поддоны мусоропроводов, лифты, лестничные клетки и другие замкнутые пространства, места хранения

пожарного инвентаря (огнетушители, шланги, гидранты), ниши для хранения уборочного инвентаря, в местах, где проходят силовые и коммуникационные линии.

На современном этапе развития общества реализация эффективных средств защиты от терроризма — важнейшее условие обеспечения безопасности людей, объектов экономики и систем государственного управления.

Контрольные вопросы к главе 12

1. Как классифицируют ЧС?
2. Назовите основные фазы развития ЧС.
3. Какие вещества относятся к АХОВ?
4. Назовите категории помещений и зданий по пожарной и взрывной опасности.
5. Каковы основные направления минимизации вероятности возникновения ЧС?
6. Перечислите средства локализации и тушения пожаров.
7. Как реализуется взрывозащита систем повышенного давления?
8. Чем достигается защита от статического электричества?
9. Назовите основные виды защитных сооружений ГО.
10. Что входит в понятие «спасательные работы» при ЧС?
11. Назовите основные виды терроризма.
12. Какие меры защиты от терроризма вам известны?

Глава 13
СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

На ряде предприятий существуют такие виды работ или условия труда, при которых работающий может получить травму или иное воздействие, опасное для здоровья. Еще более опасные условия для людей могут возникнуть в чрезвычайных ситуациях и ликвидации их последствий. В этих случаях для защиты человека необходимо применять средства индивидуальной защиты (СИЗ). Их использование должно обеспечивать максимальную безопасность, а неудобства, связанные с их применением, должны быть сведены к минимуму. Это достигается соблюдением инструкций по их применению. Последние регламентируют, когда, почему и как должны применяться СИЗ, каков должен быть уход за ними.

Номенклатура СИЗ включает обширный перечень средств, применяемых в производственных условиях (СИЗ повседневного использования), а также средств, используемых в чрезвычайных ситуациях (СИЗ кратковременного использования). В последних случаях

применяют преимущественно изолирующие средства индивидуальной защиты (ИСИЗ).

При выполнении ряда производственных операций (в литейном производстве, в гальванических цехах, при погрузке и разгрузке, механической обработке и т. п.) необходимо носить спецодежду (костюмы, комбинезоны и др.), сшитую из специальных материалов для обеспечения безопасности от воздействий различных веществ и материалов, с которыми приходится работать, теплового и других излучений. Требования, предъявляемые к спецодежде, заключаются в обеспечении наибольшего комфорта для человека, а также желаемой безопасности. При некоторых видах работ для предохранения спецодежды могут использоваться фартуки, например, в работе с охлаждающими и смазочными материалами, при тепловых воздействиях и т. д. В других условиях возможно применение специальных нарукавников.

Во избежание травм стоп и пальцев ног необходимо носить защитную обувь (сапоги, ботинки). Ее применяют при следующих работах: с тяжелыми предметами; в строительстве; в условиях, где существует риск падения предметов; в литейном и кузнечном производствах и др.

Некоторые типы спецобуви снабжены усиленной подошвой, предохраняющей стопу от острых предметов (таких как торчащий гвоздь). Обувь со специальными подметками предназначена для тех условий труда, при которых существует риск травмы при падении на скользком льду, на полу, залитым водой или маслом. Находит применение специальная виброзащитная обувь.

Для защиты рук при работах в гальванических цехах, литейном производстве, при механической обработке металлов, древесины, при погрузочно-разгрузочных работах и т. п. необходимо использовать специальные рукавицы или перчатки. Защита рук от вибраций достигается применением рукавиц из упругодемпфирующего материала.

При использовании пластиковых или резиновых перчаток в течение продолжительного времени внутрь нужно вкладывать хлопчатобумажные перчатки: они сохраняют кожу в сухом состоянии и уменьшают риск ее повреждений.

Перед надеванием перчаток или рукавиц руки необходимо вымыть, чтобы перчатки не загрязнялись изнутри вредными веществами и при многократном применении не способствовали контакту с теми веществами, от которых они предназначены предохранять.

Средства защиты кожи необходимы при контакте с веществами и материалами, вредными для нее; при механических воздействиях, в

результате которых появляются царапины и раны, а кожа становится более восприимчивой к воздействию вредных веществ. Риск такого рода воздействия можно снизить в тех случаях, когда кожа является здоровой, нетравмированной и обладает способностью к сопротивлению; когда при выполнении трудовых операций происходит наименьший контакт с вредными веществами; когда есть возможность заменить вредные вещества и материалы менее вредными; когда снижается частота и продолжительность контактов с вредными веществами.

Для профилактики повреждений кожи необходимо использовать мыло, смягчающее кожу; иные средства для очистки рук допустимо применять только в случае очень сильного загрязнения. Выбор защитного крема зависит от характера работы.

Средства защиты головы предназначены для предохранения головы от падающих и острых предметов, а также для смягчения ударов. Выбор шлемов и касок зависит от вида выполняемых работ. Они должны использоваться в следующих условиях:

— существует риск получить травму от материалов, инструментов или других острых предметов, которые падают вниз, опрокидываются, соскальзывают, выбрасываются или сбрасываются вниз;

— имеется опасность столкновения с острыми выпирающими или свисающими предметами, остроконечными предметами, предметами неправильной формы, а также с подвешенными или качающимися тяжестями;

— существует риск соприкосновения головы с электрическим проводом.

Очень важно подобрать каску соответственно характеру выполняемой работы, а также по размеру, чтобы она прочно держалась на голове и обеспечивала достаточное расстояние между внутренней оболочкой каски и головой. Если каска имеет трещины или была подвергнута сильному физическому (в форме удара или давления) или термическому воздействию, ее следует забраковать.

Для предохранения от вредных механических, химических и лучевых воздействий необходимы средства защиты глаз и лица особенно при выполнении следующих работ: шлифовании, пескоструйной обработке, распылении, опрыскивании, сварке, а также при использовании едких жидкостей, вредном тепловом воздействии и др. Средствами защиты являются очки или щитки. В некоторых ситуациях средства защиты глаз применяют вместе со средствами защиты органов дыхания, например специальные головные уборы.

В условиях работы, когда существует риск лучевого воздействия, например при сварочных работах, важно подобрать защитные фильт-

ры необходимой степени плотности. Применяя средства защиты глаз, надо следить за тем, чтобы они надежно держались на голове и не снижали поле обзора, а загрязненность не ухудшала зрение.

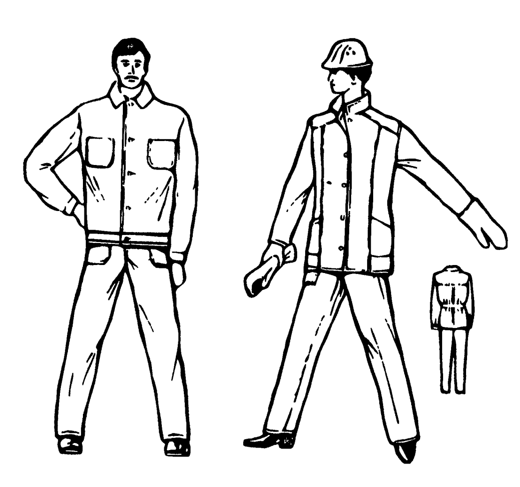
Средства защиты органов слуха используют в шумных производствах, при обслуживании энергоустановок и т. п. Существуют два типа средств защиты органов слуха: беруши и наушники. Беруши делают из различных материалов, при использовании их втыкают в уши. Наушники состоят из двух чашечек, соединенных дужкой. Одноразовые беруши следует использовать только один раз, беруши и наушники многоразового использования требуют тщательного ухода, содержания в чистоте и своевременного выявления дефектов. Правильное и постоянное применение средств защиты слуха снижает шумовую нагрузку для берушей на 10—20, для наушников на 20—30 дБ.

Чтобы добиться эффективного снижения шумового воздействия, необходимо постоянно применять средства защиты органов слуха. Даже кратковременное снятие средств защиты в условиях шума значительно снижает эффективность защиты. Беруши должны быть подобраны по размеру слухового прохода, а наушники плотно закрывать уши. В случае несоблюдения перечисленных условий уровень снижения шума составит не более 10 дБ.

Средства защиты органов дыхания предназначены для того, чтобы предохранить от вдыхания и попадания в организм человека вредных веществ (пыли, пара, газа) при проведении различных технологических процессов. При подборе средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) необходимо знать следующее: с какими веществами приходится работать; какова концентрация загрязняющих веществ; сколько времени приходится работать; в каком состоянии находятся эти вещества: в виде газа, пара или аэрозоли; существует ли опасность кислородного голодания; каковы физические нагрузки в процессе работы.

Существует два типа средств защиты органов дыхания: фильтрующие и изолирующие. Фильтрующие подают в зону дыхания очищенный от примесей воздух рабочей зоны, изолирующие — воздух из специальных емкостей или из чистого пространства, расположенного вне рабочей зоны.

Изолирующие средства защиты должны применяться в следующих случаях: в условиях возникновения недостатка кислорода во вдыхаемом воздухе; в условиях загрязнения воздуха в больших концентрациях или в случае, когда концентрация загрязнения неизвестна; в условиях, когда нет фильтра, который может предохранить от загрязнения; в случае, если выполняется тяжелая работа, когда



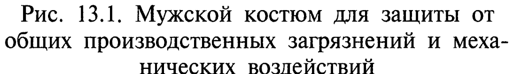


Рис. 13.1. Мужской костюм для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий

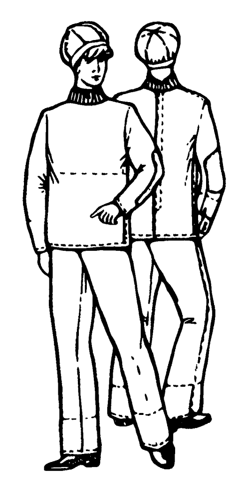


Рис. 13.2. Женский комплект для защиты от пыли токсичных веществ

дыхание через фильтрующие СИЗОД затруднено из-за сопротивления фильтра.

В случае, если нет необходимости в изолирующих средствах защиты, нужно использовать фильтрующие средства. Преимущества фильтрующих средств заключаются в легкости, свободе движений для работника; простоте решения при смене рабочего места.

Недостатки фильтрующих средств заключаются в следующем: фильтры обладают ограниченным сроком годности; существует затрудненность дыхания из-за сопротивления фильтра; ограниченность работ с применением фильтра по времени, если речь не идет о фильтрующей маске, которая снабжена поддувом. Не следует работать с использованием фильтрующих СИЗОД более 3 ч в течение рабочего дня.

Номенклатура СИЗ обширна и достаточно полно отображена в работах [1 и 3]. Некоторые СИЗ показаны на рис. 13.1—13.6.

В последние годы в связи с переходом к рыночным отношениям возникла острая необходимость в сертификации СИЗ на соответст-

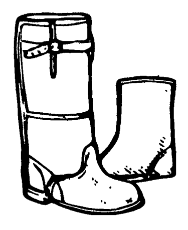
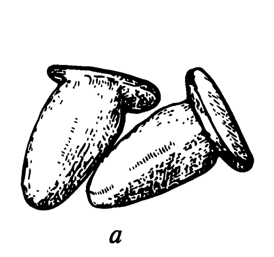


Рис. 13.3. Мужские специальные сапоги для защиты от механических воздействий, низких температур, нетоксичной пыли и нефтяных масел

Рис. 13.4. Мужские ботинки для защиты от контакта с нагретыми поверхностями







а *б*

Рис. 13.5. СИЗ для защиты органов слуха:

а — беруши; *б* — наушники

вие Европейским стандартам. Так, популярный противопылевой респиратор ШБ—1 (ГОСТ 12.4.028—76) был модернизирован, получил новое название СК—201 и европейский сертификат на соответствие требованиям EN 149—1991.

В практике создания СИЗ реализуется тенденция к разработке универсальных СИЗ, обладающих комплексом защитных свойств. Так, в Институте биофизики МЗ РФ создан автономный шлем ФАШ, предназначенный для защиты головы, глаз и органов дыхания работающего в производственной среде, загрязненной токсичными газами и аэрозолями. Эффективность защиты по аэрозолям более 0,99, время непрерывной работы в шлеме не более 2 ч, температурный диапазон от 0 до 35°С. Для защиты головы, глаз и органов дыхания сварщика этот же институт разработал автономный пневмошлем АПШ-С, защищающий от прямых излучений сварочной дуги, брызг расплавленного металла и сварочных аэрозолей.

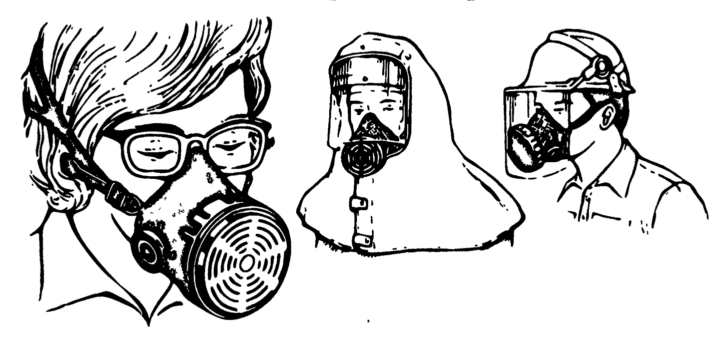


Рис. 13.6. СИЗ для защиты лица, глаз, головы и органов дыхания

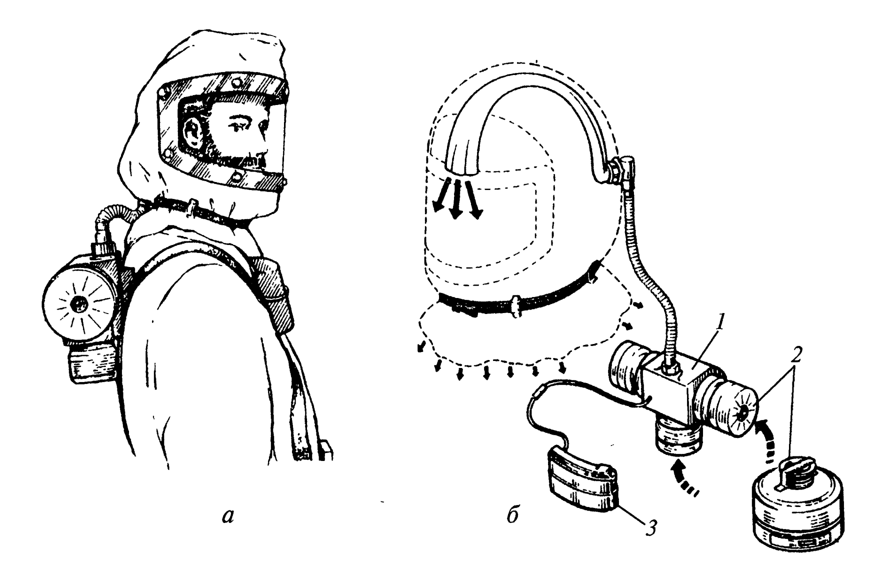


Рис. 13.7. Защитный шлем (*а*) и схема очистки и подачи воздуха в шлем (*б*):
1 — блок подачи воздуха; *2* — фильтроэлемент; *3* — батарея питания

Для работ в особо опасных условиях (в изолированных объемах, при ремонте нагревательных печей, газовых сетей и т. п.) и чрезвычайных ситуациях (при пожаре, аварийном выбросе химических или радиоактивных веществ и т. п.) применяют ИСИЗ и различные индивидуальные устройства. Находят применение ИСИЗ от теплового, химического, ионизирующего и бактериологического воздействия. Номенклатура таких ИСИЗ постоянно расширяется. Как правило, они обеспечивают комплексную защиту человека от травмоопасных и вредных факторов, создавая одновременно защиту органов зрения, слуха, дыхания, а также защиту отдельных частей тела человека. На рис. 13.7 показана схема СИЗ, предназначенного для работы в условиях повышенного аэрозольного загрязнения рабочей зоны.

Теплозащитный скафандр АТС-3 предназначен для проведения аварийно-восстановительных работ паронесущих сетей АЭС и любых других нагревательных установок. Он изготовлен из асбестофеноловой ткани. Газоспасательный аппарат АГ-2 Усольского ПО «Химпром» и пневмокостюм ЛГ-УС-М — шланговый изолирующий костюм с вентиляцией подкостюмного пространства разработки Института биофизики МЗ РФ предназначены для ремонтных, аварийных и дезактивационных работ.

Выбор СИЗ зависит от комплекса негативных факторов, характерных для конкретного вида работ. Так, при работе с радиоактивны-

ми веществами СИЗ предохраняют человека от попадания радиоактивных веществ в органы дыхания, пищеварения и непосредственно на кожу. Выбор СИЗ зависит от радиационной обстановки, которая определяется характером и объемом работ, проводимых с радиоактивными веществами. Все лица, работающие на участках работы с радиоактивными веществами в открытом виде или посещающие такие участки, должны быть обеспечены СИЗ в зависимости от класса работ. При работах I класса и при отдельных работах II класса работающие должны быть обеспечены комбинезонами или костюмами, шапочками, спецбельем, носками, легкой обувью или ботинками, перчатками, бумажными полотенцами или носовыми платками разового пользования, а также средствами защиты органов дыхания в зависимости от характера возможного радиоактивного загрязнения воздуха. При работах II класса и при отдельных работах III класса работающие должны быть обеспечены халатами, шапочками, перчатками, легкой обувью и при необходимости средствами защиты органов дыхания.

Персонал, производящий уборку помещений, а также работающие с радиоактивными растворами и порошками, должны быть снабжены (помимо перечисленной выше спецодежды и спецобуви) пластиковыми фартуками и нарукавниками или пластиковыми полухалатами, дополнительной спецобувью (резиновой или пластиковой) или резиновыми сапогами. При работах в условиях возможного загрязнения воздуха помещений радиоактивными аэрозолями необходимо применять специальные фильтрующие или изолирующие средства защиты органов дыхания. Изолирующие СИЗ (пневмокостюмы, пневмошлемы) применяют при работах, когда фильтрующие средства не обеспечивают необходимую защиту от попадания радиоактивных и токсичных веществ в органы дыхания.

При работе с радиоактивными веществами к средствам повседневного использования относят халаты, комбинезоны, костюмы, спецобувь и некоторые типы противопылевых респираторов. Спецодежду для повседневного использования изготовляют из хлопчатобумажной ткани (верхнюю одежду и белье). Если возможно воздействие на работающих агрессивных химических веществ, верхнюю спецодежду изготовляют из синтетических материалов — лавсана.

К средствам кратковременного использования относят изолирующие шланговые и автономные костюмы, пневмокостюмы, перчатки и пленочную одежду: фартуки, нарукавники, полукомбинезоны. Пластиковую одежду, изолирующие костюмы, спецобувь изготовляют из прочного легко дезактивируемого поливинилхлоридного пластика морозостойкостью до — 25°С или пластиката, армированного капроновой сеткой рецептуры 80 АМ.

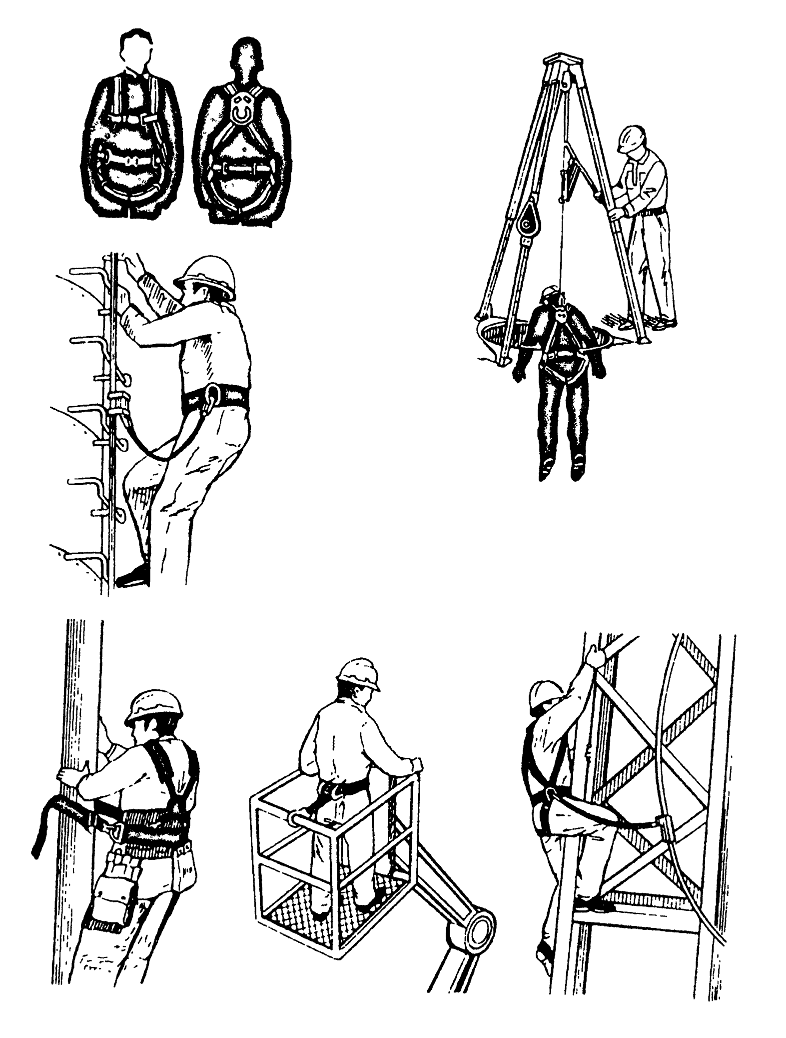


Рис. 13.8. Применение защитных устройств при работе на высоте и в колодцах

Применение СИЗ и ИСИЗ сопровождается определенными неудобствами: ограничением обзора, затруднением дыхания, ограничением в перемещении и т. п. В тех случаях, когда рабочее место постоянно, устранить эти неудобства удается применением защитных кабин, снабженных системами кондиционирования воздуха, вибро- и шумозащитой, защитой от излучений и энергетических полей. Такие кабины применяют на транспортных средствах, в горячих цехах, машинных залах ТЭС и т. п.

Безопасное проведение работ обеспечивается также путем применения индивидуальных защитных устройств. Так, при работе на высоте, в колодцах и других ограниченных объемах необходимо использовать спасательные пояса, страхующие канаты (рис. 13.8), а также СИЗ.

На выставке «Безопасность и охрана труда —2002» был представлен широкий ассортимент СИЗ. Новое поколение российских СИЗ и страховочного оборудования предлагалось фирмами: «Зеленый берег XXI век» (138 наименований); торговым домом «Росспейс» (более 250 наименований); ООО «Газозащита и комфорт» (различные СИЗОД); ОАО «Суксинский оптико-механический завод» (более 50 наименований СИЗ защиты лица, глаз и органов слуха) и др.

Контрольные вопросы к главе 13

1. Какова номенклатура СИЗ?
2. Что такое универсальные СИЗ?
3. Какие СИЗ применяют при проведении особо опасных работ?
4. Когда необходимо применение индивидуальных защитных устройств? Назовите их виды.

Глава 14

ЗАЩИТА ОТ АНТРОПОГЕННЫХ ОПАСНОСТЕЙ

14.1. ПСИХОФИЗИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Человек непрерывно получает данные о текущем состоянии окружающей среды и ее изменениях, анализирует и оценивает эту информацию, а затем принимает решение по необходимому действию и выработке программ дальнейшей жизнедеятельности.

Получение такой информации обеспечивается анализаторами, специальными структурами организма, которые представляют собой совокупность нервных образований, воспринимающих внешние раздражители, преобразующих их энергию в нервный импульс возбуждения и передающих по рефлекторной дуге от рецептора через ЦНС к исполнительному органу.

Реакция организма на внешний или внутренний раздражитель может быть показана на схеме рефлекторной дуги (см. рис. 6.1) в виде нервного импульса, проходящего через организм, и превращение его в действие. Однако для человека общее представление о рефлекторной дуге можно расширить с учетом процессов, происходящих в моз-

гу (ощущение, восприятие, представление, создание образов в памяти и т. д.).

Процесс психического восприятия — это не «фотографирование», не создание полного тождественного образа с объектом, это творческий процесс, состоящий из сравнения объективных сигналов, поступающих извне, с их субъективным представлением человека со своей индивидуальной смысловой оценкой. В этом процессе может происходить искажение истинного сигнала (раздражителя), и с учетом особенностей работы нервной системы создается индивидуальное восприятие, представление и образ конкретного объективного реального события, которое запечатлевается в памяти. Реальная картина события тем точнее отображается субъективным образом, чем больше предшествующий накопленный опыт человека.Поэтому результат психического восприятия, определяемый влиянием множества факторов, может оказаться случайным.

В процессе эволюционного развития человека его память формировалась как адаптационно-приспособительный механизм к внешней среде. Содержание памяти включает отпечатки, следы биохимических процессов прохождения внешнего импульса по рефлекторной дуге.

Человек обладает долговременной и оперативной памятью. Объем долговременной памяти предположительно составляет 10^{21} бит, а кратковременная память имеет малую емкость —50 бит.

Поскольку вспоминание, т. е. обращение в долговременную и кратковременную память, основанное на не до конца исследованных электробиохимических реакциях, как и любые материальные процессы подвергается воздействию большого числа внешних факторов, то результат его носит случайный характер. Хранение представлений в памяти тоже может видоизменяться вследствие стирания отдельных элементов информации или возникновения новых, отсутствующих в оригинале, т. е. на этом этапе тоже могут появиться различные искажения.

Психика человека сложилась в процессе эволюционного развития под влиянием изменяющихся внешних факторов, импульсный характер которых сформировал рефлекторную дугу. Самые древние и простые функции организма, преимущественно двигательные, реализуются через спинной мозг, более сложные — осуществляются на бессознательном, а затем и подсознательном уровнях. И только когда там не найдено адекватной программы реакции на сигнал, подключается сознание, прежде всего, проявляя стереотипность мышления.

Сам по себе процесс сознательного поиска решения очень медленный и для обычной жизни малопригодный. В экстремальных бы-

строразвивающихся ситуациях вероятность того, что человек найдет нужное решение в процессе мышления, очень мала. Основной путь подготовки техники к действиям в конкретных производственных ситуациях — в постоянном обучении и тренировке с целью перевода действий на уровень стереотипов.

Стереотип — это устойчиво сформировавшаяся в прежнем осознанном опыте рефлекторная дуга, выводимая в пограничную зону «сознание — подсознание».

Чем чаще идут одинаковые импульсы, тем прочнее (более жесткой) становится система их передачи от рецептора к исполнительному органу. При этом вероятность определенной двигательной реакции на определенное раздражение нарастает. Однако эта вероятность никогда не может достичь единицы в силу существования потенциальной опасности искажения сигнала в проводящей системе. Следовательно, процесс принятия решения является многовариантным (неопределенным), в том числе содержащим ошибки.

Таким образом, любая деятельность человека несет в себе потенциальную опасность, так как вероятность неправильного решения всегда существует и она весьма высока. Это обусловлено объективно существующими трудностями вспоминания и выстраивания многовариантных процессов передачи сигналов по рефлекторной дуге. Если в прошлом такого опыта вообще не было, то сознательные решения принимаются методом проб и ошибок. Свобода выбора подчиняется случайным распределениям, следствием которых является потенциальная опасность при вмешательстве человека в любой процесс. Отсюда следует и аксиома о потенциальной опасности деятельности человека, которая является фактически следствием стохастического характера психических реакций человека на внешние сигналы. Важно акцентировать внимание на человеке — источнике потенциальной опасности как факторе, влияющем на среду обитания [5].

14.2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧЕЛОВЕКА И ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Взаимосвязь человека с технической системой или со средой обитания (далее системой) происходит через информационную модель этой системы. Информационная модель объединяет два поля: сенсорное и сенсомоторное.

К сенсорному (чувствительному) полю информационной модели относят комплекс сигналов, который воспринимается человеком непосредственно от системы (шум, вибрация, ЭМП и т. д.) и ряда сигнальных систем (приборов, индикаторов и т. п.). К сенсомоторному

полю относят комплекс сигналов от органов управления (рычагов, ручек, кнопок и т. д.)

Совместимость человека и системы можно условно разделить на 5 видов:

— **биофизическая совместимость** человека и системы состоит в достижении разумного компромисса между физиологическим состоянием и работоспособностью человека, с одной стороны, и различными факторами, характеризующими систему с учетом объема, качества выполняемых им задач и продолжительности работы — с другой. Здесь должны быть обоснованы и выбраны номинальные и предельные значения отдельных воздействий на организм человека с целью обеспечения минимальной опасности и максимально возможной производительности;

— **энергетическая совместимость** предусматривает создание органов управления системы и выбор оператора так, чтобы они гармонировали в отношении затрачиваемой мощности, скорости, точности, оптимальной загрузки конечностей оператора. Это достигается профессиональным отбором, выбором рациональных режимов труда и отдыха;

— **пространственно-антропометрическая совместимость** человека и машины состоит в учете антропометрических характеристик и некоторых физиологических особенностей человека при создании рабочего места;

— **технико-эстетическая совместимость** заключается в творческой и эстетической удовлетворенности человека от процесса труда как совокупности физических и интеллектуальных сил с элементами творческой целенаправленности;

— **информационная совместимость** должна соответствовать возможностям человека по приему и переработке всего потока закодированной информации и эффективному приложению управляющих воздействий к системе.

У летчика, например, управляющего самолетом, за последние 30 лет количество средств контроля и управления в кабине самолета увеличилось в 10 раз (на современном авиалайнере их более 600). По данным мировой статистики, каждые два из трех летных происшествий происходят по причинам летного состава. И это не просто ошибки человека, вызванные растерянностью или низкой квалификацией. Большинство из них объясняется тем, что необходимые действия лежат за пределами возможности человека.

Количество информации принято измерять в двоичных знаках — битах. У человека поток информации через зрительный рецептор равен $10^8...10^9$ бит/с. Нервные пути пропускают $2 \cdot 10^6$ бит/с, до

сознания доходит около 50 бит/с, в памяти прочно удерживается 1 бит/с.

За 80 лет жизни память человека удерживает информацию порядка 10^9 бит, но мозгом оценивается не вся, а наиболее важная информация. Для управления поведением человека и активностью его функциональных систем (т. е. выходной информацией, идущей из мозга) достаточно около 10^7 бит/с с подключением программ, содержащихся в памяти.

Получение информации о многих процессах в управляемом объекте и во внешней среде — одна из важнейших функций оператора сложных систем. Данные, поступающие по каналам связи от управляемого объекта и внешней среды, отображаются на различных устройствах (стрелочные приборы, экраны осциллографов и т. п.), образующих «информационную модель»,— непосредственный источник информации для оператора, принимающего решение.

Основная трудность опосредованного управления — не только быстро «считывать», т. е. правильно определять показания приборов, но и быстро (иногда молниеносно) обобщать поступающие данные, мысленно представлять взаимосвязь между показаниями приборов и реальной действительностью. Это значит, что оператор на основании показаний приборов (информационной модели) должен создать в своем сознании внутреннюю (концептуальную) модель управляемого объекта и ОС.

Так, например, летчик при полете по приборам в среднем 86 раз в минуту переключает внимание с одного прибора на другой, а на некоторых этапах интенсивность переключения взгляда достигает 150 и даже 200 раз.

14.3. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

Деятельность человека-оператора характеризуется быстродействием и надежностью.

Критерием быстродействия является время решения задачи, т. е. время от момента реагирования оператора на поступивший сигнал до момента окончания управляющих воздействий. Обычно это время $T_{оп}$ пропорционально количеству перерабатываемой человеком информации:

$$T_{оп} = a + вH = a + (H/V_{оп}),$$

где a — скрытое время реакции, т. е. промежуток времени от момента появления сигнала до реакции на него оператора, $a = 0{,}2$—$0{,}6$ с; $в$ — время переработки единицы информации, $в = 0{,}15$—$0{,}35$ с;

H — количество перерабатываемой информации, ед.; $V_{оп}$ — средняя скорость переработки единицы информации или пропускная способность.

Пропускная способность характеризует быстроту оператора постигать смысл информации и зависит от его психологических особенностей, типа задач, технических и эргономических особенностей систем управления. Обычно пропускная способность составляет 2—4 ед/с.

Надежность человека-оператора определяет его способность выполнять в полном объеме возложенные на него функции при определенных условиях работы. Надежность деятельности оператора характеризуют его безошибочность, готовность, восстанавливаемость, своевременность и точность.

Безошибочность оценивается вероятностью безошибочной работы, которая определяется как на уровне отдельной операции, так и в целом на уровне всего объема работы.

Вероятность P_j безошибочного выполнения операций j-го вида и интенсивность ошибок λ_j, допущенных при этом, применительно к фазе устойчивой работы определяются на основе статистических данных

$$P_j = (N_j - C_{отj})N_j\ ,$$

$$\lambda_j = C_{отj}\,/(N_j T_j),$$

где N_j — общее число выполняемых операций j-го вида; $C_{отj}$ — число допущенных при этом ошибок; T_j — среднее время выполнения операции j-го вида. $P_j = 0{,}9—0{,}995$.

Коэффициент готовности характеризует вероятность включения человека-оператора в работу в любой произвольный момент времени

$$K_{оп} = 1 - (T_б/T),$$

где $T_б$ — время, в течение которого человек не может принять поступившую к нему информацию; T — общее время работы человека-оператора.

Восстанавливаемость оператора оценивается вероятностью исправлений им допущенной ошибки

$$P_в = P_к P_{обн} P_н,$$

где $P_к$ — вероятность выдачи сигнала контрольной системой; $P_{обн}$ — вероятность обнаружения сигнала оператором; $P_н$ — вероятность исправления ошибочных действий при повторном выполнении всей операции.

Этот показатель позволяет оценить возможность самоконтроля оператором своих действий и исправления допущенных им ошибок.

Своевременность действий оператора оценивается вероятностью выполнения задачи в течение заданного времени:

$$P_{св} = P\{t \leq t''\} = \int_0^{t''} f(t)dt ,$$

где $f(t)$ — функция распределения времени решения задачи оператором; t'' — лимит, превышение которого рассматривается как ошибка.

Эта же вероятность может быть определена и по статистическим данным как:

$$P_{св} = (N - N_{нс})/N,$$

где N и $N_{нс}$ — общее и несвоевременно выполненное число задач.

Точность — степень отклонения измеряемого оператором количественного параметра системы от его истинного, заданного или номинального значения. Количественно этот параметр оценивается погрешностью, с которой оператор измеряет, оценивает, устанавливает или регулирует данный параметр:

$$\Delta A = A_и + A_{оп},$$

где $A_и$ — истинное, или номинальное, значение параметра; $A_{оп}$ — фактическое измеряемое или регулируемое оператором значение этого параметра.

Значение погрешности, превысившее допустимые пределы, является ошибкой и ее следует учитывать при оценке надежности.

Точность оператора зависит от характеристик сигнала, сложности задачи, квалификации, утомляемости и ряда других факторов [1].

Исследуя ошибки, которые совершает человек, можно выделить три уровня, на каждом из которых возможно ослабить негативное действие ошибок. Например:

— на первом уровне можно предотвратить ошибки человека, предвидя их;

— на втором уровне можно избежать нежелательных последствий ошибок, корректируя неправильное функционирование системы вследствие ошибок, внесенных по вине человека;

— на третьем уровне можно исключить повторное возникновение тех или иных ситуаций, приводящих к ошибкам человека — «на ошибках учатся».

Поведение человека в сложных экстремальных ситуациях определяется его психологическим состоянием и готовностью к принятию решения и адекватным действиям.

Для снижения возможности проявления ошибочных действий человека необходимо организовывать обучение, тренировки, развивающие быстроту мышления, подсказывающие, как использовать прежний опыт для успешного принятия решения, для перевода действий оператора на уровень стереотипов, а также формирующие способность к прогнозированию и предвосхищению. Кроме этого, нужно проводить профессиональный отбор, т. е. определять пригодность человека к работе по той или иной профессии, а также соответствие психофизиологических возможностей человека условиям труда.

Профессиональный психологический отбор работников ставит задачу выявить людей, у которых процесс обучения дает максимальный эффект при минимальном времени обучения. Профессиональная пригодность определяется положительной мотивацией к данной специальности; высоким порогом ощущения опасности; быстротой реакции на экстремальные ситуации; хорошим глазомером; устойчивостью, концентрацией и распределением внимания; нормальным состоянием двигательного аппарата; высокой пропускной способностью анализаторов и т. д.

14.4. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДОВОГО ПРОЦЕССА

Правильное расположение и компоновка рабочего места, обеспечение удобной позы и свободы трудовых движений, использование оборудования, отвечающего требованиям эргономики и инженерной психологии, обеспечивают наиболее эффективный трудовой процесс, уменьшают утомляемость и предотвращают опасность возникновения профессиональных заболеваний.

Оптимальная поза человека в процессе трудовой деятельности обеспечивает высокую работоспособность и производительность труда. Неправильное положение тела на рабочем месте приводит к быстрому возникновению статической усталости, снижению качества и скорости выполняемой работы, а также к снижению реакции на опасности. Нормальной рабочей позой следует считать такую, при которой работнику не требуется наклоняться вперед больше чем на 10...15°; наклоны назад и в стороны нежелательны; основное требование к рабочей позе — прямая осанка.

Выбор рабочей позы зависит от мышечных усилий во время работы, точности и скорости движений, а также от характера выполняемой работы. При усилиях не более 50 Н можно выполнять работу

сидя. При усилиях 50...100 Н работа может выполняться с одинаковым физиологическим эффектом как стоя, так и сидя. При усилиях более 100 Н желательно работать стоя.

Работа стоя целесообразнее при необходимости постоянных передвижений, связанных с настройкой и наладкой оборудования. Она создает максимальные возможности для обзора и свободных движений. Однако при работе стоя повышается нагрузка на мышцы нижних конечностей, повышается напряжение мышц в связи с высоким расположением центра тяжести и увеличиваются энергозатраты на 6...10 % по сравнению с позой сидя.

Работа в позе сидя более рациональна и менее утомительна, так как уменьшается высота центра тяжести над площадью опоры, повышается устойчивость тела, снижается напряжение мышц, уменьшается нагрузка на сердечно-сосудистую систему. В положении сидя обеспечивается возможность выполнять работу, требующую точность движения. Однако и в этом случае могут возникать застойные явления в органах таза, затруднение работы органов кровообращения и дыхания.

Смена позы приводит к перераспределению нагрузки на группы мышц, улучшению условий кровообращения, ограничивает монотонность. Поэтому, где это совместимо с технологией и условиями производства, необходимо предусматривать выполнение работы как стоя, так и сидя, с тем чтобы рабочие по своему усмотрению могли изменять положение тела.

При организации производственного процесса следует учитывать *антропометрические и психофизиологические особенности человека*, его возможности в отношении величины усилий, темпа и ритма выполняемых операций, а также анатомо-физиологические различия между мужчинами и женщинами.

Размерные соотношения на рабочем месте при работе стоя строятся с учетом того, что рост мужчин и женщин в среднем отличается на 11,1 см, длина вытянутой в сторону руки — на 6,2 см, длина втянутой вперед руки — на 5,7 см, длина ноги — на 6,6 см, высота глаз над уровнем пола — на 10,1 см. На рабочем месте в позе сидя различия в размерных соотношениях у мужчин и женщин выражаются в том, что в среднем длина тела мужчин на 9,8 см и высота глаз над сиденьем — на 4,4 см больше, чем у женщин.

На формирование рабочей позы в положении сидя влияет высота рабочей поверхности, определяемая расстоянием от пола до горизонтальной поверхности, на которой совершаются трудовые движения. Высоту рабочей поверхности устанавливают в зависимости от характера, тяжести и точности работ. Оптимальная рабочая поза при рабо-

те сидя обеспечивается также конструкцией стула: размерами, формой, площадью и наклоном сиденья, регулировкой по высоте. Основные требования к размерам и конструкции рабочего стула в зависимости от вида выполняемых работ приведены в ГОСТ 12.2.032—78 и ГОСТ 21889—76.

Существенное влияние на работоспособность оператора оказывает правильный выбор типа и *размещения органов и пультов управления* машинами и механизмами. При компоновке постов и пультов управления необходимо знать, что в горизонтальной плоскости зона обзора без поворота головы составляет 120°, с поворотом —225°; оптимальный угол обзора по горизонтали без поворота головы —30—40° (допустимый 60°), с поворотом — 130°. Допустимый угол обзора по горизонтали оси зрения составляет 130°, оптимальный —30° вверх и 40° вниз.

Приборные панели следует располагать так, чтобы плоскости лицевых частей индикаторов были перпендикулярны линиям взора оператора, а необходимые органы управления находились в пределах досягаемости. Наиболее важные органы управления следует располагать спереди и справа от оператора. Максимальные размеры зоны досягаемости правой рукой —70...110 см. Глубина рабочей панели не должна превышать 80 см. Высота пульта, предназначенного для работы сидя и стоя, должна быть 75...85 см. Панель пульта может быть наклонена к горизонтальной плоскости на 10...20°, наклон спинки кресла при положении сидя —0...10°.

Для лучшего различия органов управления они должны быть разными по форме и размеру, окрашиваться в разные цвета либо иметь маркировку или соответствующие надписи. При группировке нескольких рычагов в одном месте необходимо, чтобы их рукоятки имели различную форму. Это позволяет оператору различать их на ощупь и переключать рычаги, не отрывая глаз от работы.

Применение ножного управления дает возможность уменьшить нагрузку на руки и таким образом снизить общую утомляемость оператора. Педали следует применять для включения, пуска и остановки при частоте этих операций не более 20 в минуту, когда требуется большая сила переключения и не слишком большая точность установки органа управления в новом положении. При конструировании ножного управления учитывают характер движения ног, необходимые усилие, частоту движения, общее рабочее положение тела, ход педали. Наружная поверхность педали должна быть рифленой на ширину 60...100 мм, рекомендуемое усилие — 50...100 Н.

Элементами рационального режима труда и отдыха являются *производственная гимнастика* и комплекс мер по психофизиологической разгрузке, в том числе *функциональная музыка.*

В основе производственной гимнастики лежит **феномен активного отдыха (И.М. Сеченов)** — *«утомленные мышцы быстрее восстанавливают свою работоспособность не при полном покое, а при работе других мышечных групп».* В результате производственной гимнастики увеличивается жизненная емкость легких, улучшается деятельность сердечно-сосудистой системы, повышается функциональная возможность анализаторных систем, увеличивается мышечная сила и выносливость. Однако при тяжелом труде или при работе в условиях повышенной температуры воздуха более целесообразен пассивный отдых в хорошо проветриваемом помещении.

В основе благоприятного действия музыки лежит вызываемый ею положительный эмоциональный настрой, необходимый для любого вида работ. Производственная музыка способствует снижению утомляемости, улучшению настроения и здоровья работающих, повышает работоспособность и производительность труда. Однако функциональную музыку не рекомендуется применять при выполнении работ, требующих значительной концентрации внимания (более 70 % рабочего времени), при умственной работе (более 70 % рабочего времени), при большой напряженности выполняемых работ, непостоянных рабочих местах и в неблагоприятных санитарно-гигиенических условиях внешней среды.

Для снятия нервно-психического напряжения, борьбы с утомлением, восстановлением работоспособности в последнее время успешно используют *кабины релаксации или комнаты психологической разгрузки.* Они представляют собой специально оборудованные помещения, в которых в отведенное для этого время в течение смены проводят сеансы для снятия усталости и нервно-психического напряжения.

Эффект психоэмоциональной разгрузки достигается путем эстетического оформления интерьера, использования удобной мебели, позволяющей находиться в удобной расслабленной позе, трансляции специально подобранных музыкальных произведений, насыщения воздуха благотворно действующими отрицательными ионами, приема тонизирующих напитков, имитации в помещении естественно-природного окружения и воспроизведения звуков леса, морского прибоя и др. Одним из элементов психологической разгрузки является аутогенная тренировка, основанная на комплексе взаимосвязанных приемов психической саморегуляции и несложных физических упражнений со словесным самовнушением. Этот метод позволяет

нормализовать психическую деятельность, эмоциональную сферу и вегетативные функции. Как показывает опыт, пребывание рабочих в комнатах психологической разгрузки способствует снижению утомляемости, появлению бодрости, хорошего настроения и улучшению самочувствия.

14.5. ОСОБЕННОСТИ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЖЕНЩИН И ПОДРОСТКОВ

При использовании на производстве труда женщин и подростков необходимо учитывать анатомо-физиологические особенности их организма.

Основными особенностями подросткового возраста является резкий подъем всех жизненных функций, энергичный рост и физическое развитие тела. В этом возрасте наблюдается ускоренный рост костей скелета и мускулатуры, особенно конечностей, слабость связочного аппарата, более быстрая утомляемость мышц, нередки отклонения в развитии органов дыхания, кровообращения и желудочно-кишечного тракта.

Для лиц в возрасте 16...18 лет установлена сокращенная продолжительность рабочей недели 36, а для лиц в возрасте 15 лет —24 ч. Их запрещено привлекать к ночным и сверхурочным работам в выходные дни. Ограничено применение труда подростков по переноске тяжестей, а если работа связана только с переноской тяжестей, то масса груза не должна превышать 4,1 кг. Все лица моложе 18 лет при поступлении на работу обязательно проходят профилактические медицинские осмотры.

Анатомо-физиологические особенности женщин в некоторых случаях при неудовлетворительной производственной обстановке могут способствовать возникновению гинекологических заболеваний и повлиять на репродуктивную функцию женщин. Неблагоприятное влияние на состояние здоровья женщин оказывают повышенная трудоемкость, нервная напряженность и монотонность труда. Для работающих женщин регламентируют предельные величины переноски и перемещения грузов; вводят более благоприятные режимы труда и отдыха; ограничивают использование труда женщин в ночное время; устанавливают для них режим работы с неполным рабочим днем или с неполной рабочей неделей.

Максимальная масса поднимаемого и перемещаемого женщинами груза, при условии чередования этого процесса с другими видами работ (до 2 раз в час), согласно СанПиН 2.2.0.555—96, составляет 10 кг, при подъеме и перемещении тяжестей постоянно в течение

рабочей смены — 7 кг. Величина динамической работы, совершаемой в течение каждого часа рабочей смены, не должна превышать: с рабочей поверхности —1750, с пола —875 кгм. Причем в массу поднимаемого и перемещаемого груза включается масса тары и упаковки. При перемещении грузов на тележках или в контейнерах прилагаемое усилие не должно превышать 10 кг.

Поскольку организм женщин особенно уязвим в период беременности, то запрещается применение труда беременных женщин на работах, которые могут нанести вред здоровью женщины или ее потомства. Беременные женщины в соответствии с медицинским заключением должны быть переведены на более легкую работу или работу, исключающую воздействие вредных и опасных производственных факторов, с сохранением среднего заработка по прежней работе.

Не допускается привлечение к работам в ночное время, к сверхурочным работам, к работам в выходные дни и направление в командировки беременных женщин и женщин, имеющих детей в возрасте до трех лет.

14.6. ТРУДОВОЕ ОБУЧЕНИЕ И СТИМУЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Одним из наиболее важных элементов повышения эффективности трудовой деятельности человека является совершенствование умений и навыков в результате трудового обучения. Обучение придает законченность и устойчивость всем формам двигательной активности, является важным средством предупреждения утомляемости.

С точки зрения психофизиологической, трудовое обучение представляет собой процесс приспособления и соответствующего изменения физиологических функций организма человека для наиболее эффективного выполнения конкретной работы. В результате тренировки (обучения) возрастает мышечная сила и выносливость, повышается точность и скорость рабочих движений, увеличивается скорость восстановления физиологических функций после окончания работы.

Наличие квалифицированного персонала на предприятии — одно из важнейших условий безопасности труда на производстве. Поэтому на предприятиях должна создаваться специальная система обучения работников по охране труда.

В соответствии с законодательством РФ об охране труда работодатель обязан обеспечить обучение, инструктаж работников и проверку знаний работником норм, правил и инструкций по охране труда.

Обучению и проверке знаний подлежат:

— руководители и специалисты предприятий, а также лица, занимающиеся предпринимательской деятельностью, связанные с организацией, руководством и проведением работы непосредственно на рабочих местах и производственных участках с осуществлением надзора и технического контроля за проведением работ;

— инженерные и педагогические работники профессиональных образовательных учреждений.

Проверка знаний по охране труда поступивших на работу руководителей и специалистов проводится не позднее одного месяца после назначения на должность, для работающих — периодически, не реже одного раза в три года.

Проверку знаний по охране труда руководителей и специалистов, осуществляемую в соответствии с Типовым положением, на объектах, подконтрольных специально уполномоченным органам надзора и контроля (Госгортехнадзору России, Главгосэнергонадзору России, Госатомнадзору России и др.), рекомендуется совмещать с проверкой знаний, проводимой в порядке, установленном этими органами.

Ответственность за организацию своевременного и качественного обучения и проверку знаний по охране труда в целом по предприятию возлагается на его руководителя, в подразделениях (цех, участок, отдел, лаборатория, мастерская и др.) — на руководителя подразделения.

Поступившие на предприятие руководители и специалисты проходят вводный инструктаж, который проводит инженер по охране труда или лицо, на которое приказом руководителя предприятия возложены эти обязанности.

При этом они должны быть ознакомлены:

— с состоянием условий и охраны труда, производственного травматизма и профессиональной заболеваемости на предприятии (в подразделении);

— с законодательными и иными нормативными правовыми актами по охране труда, коллективным договором (соглашением) на предприятии;

— со своими должностными обязанностями по обеспечению охраны труда на предприятии (подразделении);

— с порядком и состоянием обеспечения работников средствами индивидуальной и коллективной защиты от воздействия опасных и вредных производственных факторов.

Внеочередная проверка знаний по охране труда руководителей и специалистов предприятий проводится независимо от срока проведения предыдущей проверки:

— при введении в действие на предприятии новых или переработанных (дополненных) законодательных и иных нормативных правовых актов по охране труда;

— при изменениях (замене) технологических процессов и оборудования, требующих дополнительных знаний по охране труда обслуживающего персонала;

— при назначении или переводе на другую работу, если новые обязанности требуют от руководителей и специалистов дополнительных знаний по охране труда (до начала исполнения ими своих должностных обязанностей);

— по требованию государственной инспекции труда субъектов РФ при установлении недостаточных знаний;

— после аварий, несчастных случаев, а также при нарушении руководителями и специалистами или подчиненными им работниками требований нормативных правовых актов по охране труда;

— при перерыве в работе в данной должности более одного года.

Непосредственно перед очередной (внеочередной) проверкой знаний по охране труда руководителей и специалистов организуется специальная подготовка с целью углубления знаний по наиболее важным вопросам охраны труда (краткосрочные семинары, беседы, консультации и др.). О дате и месте проведения проверки знаний работник должен быть предупрежден не позднее чем за 15 дней.

Для проведения проверки знаний по охране труда руководителей и специалистов на предприятиях приказом (распоряжением) их руководителей создаются комиссии по проверке знаний (одна или несколько).

Результаты проверки знаний по охране труда руководителей и специалистов предприятий оформляются протоколами.

Удостоверения о проверке знаний по охране труда действительны на всей территории России, в том числе для работников, находящихся в командировке.

Обучение по вопросам охраны труда руководителей и специалистов предприятий проводится по программам, разработанным и утвержденным предприятиями или учебными центрами, комбинатами, институтами, имеющими разрешение органов управления охраной труда субъектов РФ на проведение обучения и проверку знаний по охране труда, в соответствии с типовыми программами.

Типовые программы обучения по вопросам охраны труда руководителей и специалистов предприятий разрабатываются и утверждаются соответствующими министерствами, ведомствами, органами управления охраной труда субъектов РФ.

Контроль за своевременным проведением проверки знаний по охране труда руководителей и специалистов предприятий осуществляется государственной инспекцией труда.

Служба охраны труда предприятия должна осуществлять постоянный контроль за своевременной разработкой, проверкой и пересмотром инструкций для работников, оказывать методическую помощь разработчикам, содействовать им в приобретении необходимых типовых инструкций, стандартов ССБТ, а также других нормативных актов по охране труда.

Инструкции для работников утверждаются руководителем предприятия после проведения предварительных консультаций с соответствующим выборным профсоюзным органом и службой охраны труда, а в случае необходимости и с другими заинтересованными службами и должностными лицами по усмотрению службы охраны труда.

Каждой инструкции должно быть присвоено наименование и номер. В наименовании следует кратко указать, для какой профессии или вида работ она предназначена.

Руководители предприятий обеспечивают инструкциями всех работников и руководителей заинтересованных подразделений (служб) предприятий. Выдача инструкций руководителям подразделений (служб) предприятия должна производиться службой охраны труда с регистрацией в журнале учета выдачи инструкций. У руководителя подразделения (службы) предприятия должен постоянно храниться комплект действующих в подразделении (службе) инструкций для работников всех профессий и по всем видам работ данного подразделения (службы), а также перечень этих инструкций, утвержденных руководителем предприятия. У каждого руководителя участка (мастер, прораб и т. д.) должен быть в наличии комплект действующих инструкций для работников, занятых на данном участке, по всем профессиям и видам работ. Инструкция работникам могут быть выданы на руки под расписку в личной карточке инструктажа для изучения при первичном инструктаже, либо вывешены на рабочих местах или участках, либо храниться в ином месте, доступном для работников.Местонахождения инструкций определяет руководитель подразделения (службы) с учетом необходимости обеспечения доступности и удобства ознакомления с ними.

При обеспечении безопасных и здоровых условий труда работников работодатель должен уделить особое внимание организации и проведению работ, к которым предъявляются дополнительные (повышенные) требования безопасности труда.

Отдельными нормативными правовыми актами по охране труда предусмотрены виды работ, к которым предъявляются дополнитель-

ные (повышенные) требования безопасности и установлен особый порядок допуска работников к их выполнению. К таким работам относятся: эксплуатация и ремонт электроустановок, котлов, сосудов, работающих под давлением, обслуживание газового хозяйства, грузоподъемных машин и лифтов, выполнение верхолазных, электрогазосварочных, погрузочно-разгрузочных операций, деятельность, связанная с применением радиоактивных веществ, взрывчатых материалов, пиротехнических средств.

Работодатель, руководитель организации на основании действующих нормативных правовых актов по охране труда должны определить перечень работ и профессий, к которым предъявляются дополнительные требования безопасности труда, требующие дополнительного специального обучения работников перед допуском их к самостоятельной работе. Порядок, форма, периодичность и продолжительность обучения устанавливаются руководителем организации с учетом действующих. Без предварительного обучения, проверки знаний соответствующих правил и норм по охране труда персонал к работам, связанным с повышенной опасностью, не допускается.

Обучение осуществляется по программам, утвержденным руководителем организации по согласованию со службой охраны труда и профсоюзным комитетом или иным уполномоченным работниками представительным органом. Обучение должно завершаться проверкой теоретических знаний и практических навыков. Прошедшему проверку зданий выдается удостоверение на право выполнения работ с повышенной опасностью. Проверка знаний должна быть периодичной в соответствии с действующими соответствующими правилами.

В соответствии с утвержденным перечнем работники, которые допускаются к работам повышенной опасности, должны проходить предварительный и периодический медицинские осмотры в медицинском учреждении.

Особое место в организации работ на предприятии отводится работам, на проведение которых требуется наряд-допуск.

Наряд-допуск — это задание на производство работ, оформленное на специальном бланке установленной формы и определяющее содержание, место работы, время ее начала и окончания, условия безопасного проведения, состав бригады и лиц, ответственных за безопасность выполнения работы.

Организация безопасного производства работ по наряду-допуску регламентируется соответствующими нормативными правовыми актами по охране труда — по каждому виду работ, например работы в действующих электрических установках, ремонт грузоподъемных

кранов, осмотр и ремонт газораспределительных пунктов и газопроводов, ремонт котлов и т. д.

Нормативными правовыми актами определяются лица, ответственные за безопасность работ, их права и обязанности, порядок выдачи и оформления нарядов-допусков, действия ответственных лиц перед допуском бригады к работе по наряду-допуску, во время работы и по ее окончании.

Допуск к работе осуществляется ежедневно с указанием даты и времени начала работы и оформляется подписями ответственного руководителя и производителя работ.

Допуск к работе по наряду производится непосредственно на рабочем месте после проверки ответственным руководителем или лицом, выдавшим наряд-допуск, совместно с производителем работ выполнения мероприятий, обеспечивающих безопасное производство работы, проведения инструктажа по безопасности труда с членами бригады. Проведение инструктажа по безопасности труда фиксируется в наряде-допуске с подписью его участников. Экземпляр наряда-допуска, по которому сделан допуск, должен находиться у производителя работ и лица, выдавшего его.

Если при получении наряда-допуска у производителя работ или членов бригады возникают какие-либо сомнения, то они обязаны потребовать разъяснения у ответственного руководителя или лица, выдавшего наряд.

Профессиональный отбор работающих по отдельным специальностям (шофера, лица, работающие на высоте, операторы и др.) предусматривает установление их физической и психофизиологической пригодности к безопасному выполнению работ. Особое внимание при этом уделяется учету физических возможностей, антропометрических данных (рост, длина рук и т. п.) и психофизиологических данных (темперамент, способность к концентрации внимания, к восприятию большого объема информации, реакция на внешнее воздействие, психологическая устойчивость и т. п.).

Операторы и диспетчеры сложных систем управления проходят тестирование на определение общего и структурно-логического объема памяти, способности к концентрации внимания как одномоментно, так и в течение рабочего дня, в том числе при наличии разного рода неблагоприятных воздействий (звуковых, световых), способности к переключению внимания. Кроме того, применительно к ним проводят оценку избирательности внимания, выявления склонности к принятию решений, связанных с риском. Оценка объема памяти ведется по таблицам, содержащим различную визуальную информацию (геометрические фигуры, наборы цифр, тексты), после ознаком-

ления с содержанием которых испытуемый по возможности быстро воспроизводит эту информацию по памяти.

Особое внимание обращается на изучение быстроты реакции испытуемых. Для этой цели разработан рефлексометр РЦП-3, предназначенный для измерения простой и сложной реакции человека на световые и звуковые раздражители. Анализатор сенсомоторной координации АСК-3 позволяет оценивать общее время реагирования и точность реагирования. Измеритель критической частоты световых мельканий ИКЧ-2 позволяет выявлять степень утомляемости (в частности, зрительной) отдельных лиц в процессе труда. Разработаны тесты на исследование глазомера.

Применительно к травмоопасным производствам в качестве элемента профотбора рекомендуется выявление с помощью специальных тестов психического склада человека. Имеются данные, что уровень травматизма среди холериков и меланхоликов выше, чем среди сангвиников.

Подготовка работающих по вопросам охраны труда и окружающей среды, а также к действиям в чрезвычайных ситуациях производится в рамках профессионального обучения в вузах, где задействован курс «Безопасность жизнедеятельности». Специальные аспекты обеспечения последней рассматриваются в спецкурсах. В последние годы начата подготовка специалистов по безопасности жизнедеятельности в системе переквалификации инженерных кадров.

Специфика отдельных технологических процессов предъявляет к лицам, их выполняющим, дополнительные требования в части их психических возможностей, антропометрических данных, состояния здоровья. Соответствие этим требованиям выявляется в рамках профессионального отбора, а также медицинских освидетельствований.

Медицинское освидетельствование проводят для работающих во вредных условиях труда, а также при работах с повышенной опасностью травмирования. Система медицинских осмотров определена приказами Минздрава РФ № 405 от 10.12.96 г. и № 280 от 5.10.95 г. Она предусматривает предварительные, перед поступлением на работу, и периодические, в ее процессе, освидетельствования, цель которых выявить наличие медицинских противопоказаний к этой работе. Их перечень для различных профессий дан в приказе Минздрава РФ № 90 от 14.03.90 г.

Функция стимулирования за работу по охране труда направлена на создание заинтересованности работающих в решении задач в сфере охраны труда по обеспечению безопасных и безвредных условий труда на рабочих местах, участках, в цехах и на предприятии в целом. Виды и формы материального и морального стимулирования

разрабатываются администрацией предприятия совместно с профсоюзным комитетом с учетом постановлений и указаний государственных и профсоюзных органов по вопросам стимулирования.

Полная и всесторонняя реализация функции «стимулирования», т. е. создание действенной системы заинтересованности каждого коллектива, каждого работающего в решении задач охраны труда, позволяет широко привлекать к управлению охраной труда трудовые коллективы с более полной реализацией всех других функций управления и в конечном итоге в значительной мере повысить эффективность решения задач управления.

Контрольные вопросы к главе 14

1. Почему результат некоторых психических процессов может оказаться случайным и нести в себе различные искажения?
2. Что такое стереотип?
3. Что такое информационная модель системы?
4. Какие виды совместимости человека и технической системы можно выделить?
5. Перечислите основные критерии оценки надежности человека-оператора.
6. Какие факторы необходимо учитывать при выборе типа и размещении органов управления установками?
7. Каким образом рабочая поза влияет на эффективность трудового процесса?
8. Как учитываются антропологические и психометрические особенности человека при организации трудового процесса?
9. Как правильно организовать трудовой процесс?
10. Каковы основные особенности подросткового возраста?
11. Какие факторы могут негативно повлиять на состояние здоровья женщин?
12. Какие знания получают специалисты при вводном инструктаже?

Раздел V

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Глава 15

ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ

15.1. ПРАВОВЫЕ И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Законы и подзаконные акты. Правовую основу обеспечения безопасности жизнедеятельности составляют соответствующие законы и постановления, принятые представительными органами Российской Федерации и входящих в нее республик, а также подзаконные акты: указы президентов, постановления, принимаемые правительствами Российской Федерации (РФ) и входящих в нее государственных образований, местными органами власти и специально уполномоченными на то органами. Среди них прежде всего Министерство природных ресурсов (Минприродресурс), Министерство здравоохранения и социального развития РФ (Минздравсоцразвития), Министерство РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МинЧС) и их территориальные органы.

Правовую основу охраны окружающей среды в стране и обеспечение необходимых условий труда составляет закон РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (1999), в соответствии с которым введено санитарное законодательство, включающее указанный закон и нормативные акты, устанавливающие критерии безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды его обитания и требования к обеспечению благоприятных условий его жизнедеятельности. Ряд требований по охране труда и окружающей среды зафиксирован в «Основах законодательства РФ об охране здоровья граждан» (1993) и в законе РФ «О защите прав потребителей» (1992).

Важнейшим законодательным актом, направленным на обеспечение экологической безопасности, является закон РФ «Об охране окружающей среды» (введен в действие в 2002 г.).

Из других законодательных актов в области охраны окружающей среды отметим Водный кодекс РФ (1995), Земельный кодекс РФ (2001), законы Российской Федерации «О недрах» (1992), «Об охране

атмосферного воздуха» (1999) и «Об отходах производства и потребления» (1998).

В качестве примеров подзаконных актов по охране окружающей среды приведем постановления Правительства РФ «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, выбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления» (2003), «Об утверждении положения о лицензировании деятельности по обращению с опасными отходами» (2002), а также документы специально уполномоченных органов: «Руководство по контролю источников загрязнения атмосферы ОНД-90», «Об утверждении положения об оценке воздействия на окружающую среду» и «Основные положения аудирования в РФ».

Среди законодательных актов по охране труда отметим Федеральный закон «Об основах охраны труда» (1999) и Трудовой кодекс РФ (2001), устанавливающие основные правовые гарантии в части обеспечения охраны труда.

В условиях рыночных отношений большую роль призван сыграть Федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» (1998).

Из подзаконных актов отметим постановление Правительства РФ «Об экспертизе условий труда» (2004), «О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда» (1999), утвержденное Минтрудом РФ «Положение об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях» (2002), а также «Положение об аттестации рабочих мест по условиям труда» (1997) и «Правила сертификации работ по охране труда» (2002).

Правовую основу организации работ в чрезвычайных ситуациях и в связи с ликвидацией их последствий составляют законы РФ «О защите населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (1994), «О пожарной безопасности» (1994), «Об использовании атомной энергии» (1995). Среди подзаконных актов в этой области отметим постановление Правительства РФ «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (2003).

Нормативно-техническая документация (НТД*). Эта документация по охране окружающей среды включает федеральные и региональные

---

* В юридической литературе входит в понятие нормативно-правовых актов.

(субъектов Федерации) санитарные нормы и правила Министерства здравоохранения РФ и его территориальных органов, строительные нормы и правила Комитета по строительству и коммунально-жилищному комплексу РФ (Госстрой РФ), систему стандартов «Охрана природы» Госстандарта РФ, документы Министерства природных ресурсов РФ, Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Хотя указом Президента РФ «О системе и структуре Федеральных органов исполнительной власти» от 09.03.04 указанные выше органы были либо упразднены, либо реорганизованы, разработанная ими НТД по охране окружающей среды продолжает свое действие, так же как отдельные нормативные акты организаций, ранее разрабатывавших НДТ в рассматриваемой области: Минздрава СССР, Госстроя СССР, Госстандарта СССР, Госкомприроды СССР и Минприроды СССР, Госгидромета СССР, Госкомэкологии РФ.

Следует иметь в виду, что несмотря на то, что Федеральный закон «О техническом регулировании» (2002) отменил принцип обязательности выполнения государственных стандартов, он не распространил его на ближайшие 7 лет на ГОСТы, направленные на сохранение здоровья и жизни человека, а также на охрану окружающей природной среды.

Санитарные нормы устанавливают ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и в воде различного назначения, а также предельные уровни физических воздействий на окружающую среду (шума, вибрации, инфразвука, электромагнитных полей и излучений от различных источников).

В системе Строительных норм и правил рассмотрены нормы проектирования сооружений различного назначения, учитывающие требования охраны окружающей среды и рационального природопользования.

Отметим, что наряду с нынедействующими СНиПами, разработанными в рамках системы строительных норм и правил и введенными в 1994 г., одновременно продолжают свое действие отдельные, пока еще не замененные СНиПы системы 1982 г.

Система стандартов «Охрана природы» — составная часть государственной системы стандартизации (ГСС), ее 17-я система. Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов — совокупность взаимосвязанных стандартов, направленных на сохранение, восстановление и рациональное использование природных ресурсов. Эта система разрабатывается в соответствии с действующим законодательством с учетом экологических, санитарно-гигиенических, технических и экономических требований.

Система стандартов в области охраны природы изначально состояла из 10 комплексов стандартов. Кодовое название комплексов: 0— организационно-методические стандарты, 1— гидросфера, 2— атмосфера, 3— биологические ресурсы, 4— почвы, 5— земли, 6— флора, 7— фауна, 8— ландшафты, 9— недра. Каждый комплекс стандартов, начиная с комплекса «гидросфера» и кончая комплексом «недра», включал шесть групп стандартов. Комплекс 0 включал одну группу (0) «Основные положения». Содержание всех групп стандартов представлено в табл. 15.1.*

Обозначение стандартов в области охраны природы состоит из номера системы по классификатору, шифра комплекса, шифра группы, порядкового номера стандарта и года регистрации стандарта. Так, стандарт на предельно допустимый выброс СО бензиновых двигателей автомобилей состоит в комплексе 2 группа 2, обозначение его: ГОСТ 17.2.2.03—87. (После указанных выше сокращений системы ранее принятые обозначения стандартов не изменились.)

Таблица 15.1. **Содержание групп стандартов в области охраны природы**

Шифр группы	Группа стандартов
0	Основные положения
1	Термины, определения, классификации
2	Показатели качества природных сред, параметры загрязняющих выбросов и сбросов и показатели интенсивности использования природных ресурсов
3	Правила охраны природы и рационального использования природных ресурсов
4	Методы определения параметров состояния природных объектов и интенсивности хозяйственных воздействий
5	Требования к средствам контроля и измерений состояния окружающей природной среды
6	Требования к устройствам, аппаратам и сооружениям по защите окружающей среды от загрязнений
7	Прочие стандарты

Имеется также целый ряд отраслевых и внесистемных стандартов, связанных с природоохранной деятельностью.

Нормативно-техническая документация по охране труда включает межотраслевые, отраслевые и региональные нормы и правила по охране труда и технике безопасности, санитарные нормы и правила, стандарты безопасности труда, а также типовые отраслевые и межот-

* В 1994 г. комплексы 3 и 8 из системы были исключены.

раслевые инструкции по охране труда для рабочих и служащих (ТИРМ и ТИРО). Межотраслевые нормы и правила, а также государственные стандарты закрепляют важнейшие гарантии обеспечения безопасности и гигиены труда во всех или нескольких отраслях либо в отдельных видах производства, либо при отдельных видах работ (например, на отдельных типах оборудования во всех отраслях).

Такого рода документацией являются межотраслевые правила по охране труда (ПОТРМ) при проведении различных производственных процессов, разрабатывавшиеся Минтрудом РФ, Правила безопасности (ПБ), Правила устройства и безопасной эксплуатации (ПУБЭ) Госгортехнадзора РФ и Атомнадзора РФ, а также уже упоминавшиеся Санитарные нормы и правила Минздрава РФ и СНиПы и своды правил (СП) по проектированию и строительству Госстроя РФ. Важнейшим видом межотраслевой НТД по охране труда являются стандарты системы стандартов безопасности труда (ССБТ)*.

Система стандартов безопасности труда — одна из систем государственной системы стандартизации (ГСС). Шифр (номер) этой системы ГСС—12. В рамках этой системы производятся взаимная увязка и систематизация всей существующей нормативной и нормативно-технической документации по безопасности труда, в том числе многочисленных норм и правил по технике безопасности и производственной санитарии как федерального, так и отраслевого значения. ССБТ представляет собой многоуровневую систему взаимосвязанных стандартов, направленную на обеспечение безопасности труда.

Стандарты подсистемы 0 устанавливают: цель, задачи, область распространения, структуру ССБТ и особенности согласования стандартов ССБТ; терминологию в области охраны труда; классификацию опасных и вредных производственных факторов; принципы организации работы по обеспечению безопасности труда в промышленности. Большую часть той подсистемы составляют стандарты предприятий (СТП).

Объектами стандартизации на предприятиях являются: организация работ по охране труда, контроль состояния условий труда, порядок стимулирования работы по обеспечению безопасности труда; организация обучения и инструктажа работающих по безопасности труда; организация контроля за безопасностью труда и все другие работы, которыми занимается служба охраны труда (подробно см. ниже).

---

* Как уже отмечалось, Федеральные органы исполнительной власти были реорганизованы, но их НТД продолжает свое действие. В настоящее время разработка ПОТРМов возложена на Минздравсоцразвития России, ПБ и ПУБЭ — на Ростехнадзор России, СНиПов — на Министерство промышленности и энергетики РФ.

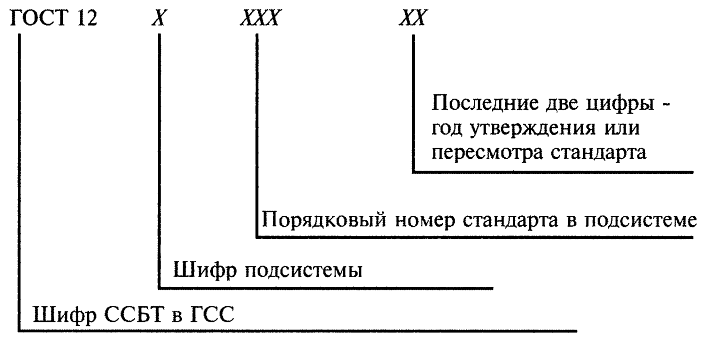


Рис. 15.1. Система обозначений в ССБТ

Стандарты подсистемы 1 устанавливают требования по видам опасных и вредных производственных факторов и предельно допустимые значения их параметров; методы и средства защиты работающих от их воздействия; методы контроля уровня указанных факторов. Стандарты подсистемы 2 устанавливают: общие требования безопасности к производственному оборудованию; требования безопасности к отдельным группам производственного оборудования; методы контроля выполнения этих требований.

Стандарты подсистемы 3 устанавливают общие требования безопасности к производственным процессам, к отдельным группам технологических процессов; методы контроля выполнения требований безопасности.

Стандарты подсистемы 4 устанавливают требования безопасности к средствам защиты; подсистемы 5— к зданиям и сооружениям.

В ССБТ принята система обозначений, показанная на рис. 15.1.

Таким образом, если нас интересуют требования безопасности к электросварочным работам, ищем стандарт класса 12 подсистемы 3 (производственные процессы), где он фигурирует под номером 3 (ГОСТ 12.3.003—86*). Стандарт требований к защитному заземлению и занулению (их применению, устройству) следует искать в подсистеме 1— это ГОСТ 12.1.030—81* «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление». Нельзя путать стандарты такого рода со стандартами требований безопасности к средствам защиты (подсистема 4), например ГОСТ 12.4.021—75* «ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования». Стандарт на обучение работающих безопасности труда, метрологическое обеспечение охраны труда следует искать в подсистеме 0 как стандарты на организационные вопросы. Это ГОСТ 12.0.004—90 и ГОСТ 12.0.005—84.

Если перечень методов и средств защиты, необходимых для обеспечения требований безопасности по рассматриваемому фактору, оказывается емким, его стандартизуют в рамках отдельного стандарта подсистемы 1. Примером такого документа является ГОСТ 12.1.029—80 «ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация». Так же поступают при информативно-емких методах контроля требований безопасности. Так, в подсистеме 1 имеется отдельный стандарт на метод измерения на рабочих местах шума (ГОСТ 12.1.050—86).

Требования безопасности устанавливают применительно к производственному, а не технологическому оборудованию, к производственным, а не технологическим процессам. Так, требования ГОСТ 12.2.009—80* «ССБТ. Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности» относятся к станкам всех типов (токарным, сверлильным, шлифовальным, заточным и т. п.); ГОСТ 12.3.025—80* «ССБТ. Обработка металлов резанием. Требования безопасности» относится ко всем видам металлообработки резанием.

Примером региональных НТД являются санитарные нормы и правила и строительные нормы и правила, а также общие правила охраны труда для предприятий и организаций г. Москвы.

Примером отраслевой НТД по охране труда являются отраслевые правила по охране труда на отдельные виды работ (ПОТРО) и типовые инструкции по охране труда (для рабочих основных профессий), разрабатываемые федеральными органами исполнительной власти (министерствами и ведомствами).

На уровне предприятий и организаций разрабатываются инструкции по охране труда на рабочих местах, а также стандарты организаций по безопасности труда (СТП).

Они регламентируют принципы работ по обеспечению безопасности труда: организацию контроля условий труда; надзора за установками повышенной опасности; обучение работающих безопасности труда; аттестации лиц, обслуживающих установки повышенной опасности, проведение аттестации рабочих мест на предприятии и т. д.

Основные нормативно-технические документы по чрезвычайным ситуациям объединены в комплекс стандартов «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» (БЧС).

Основные цели комплекса:

— повышение эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС на всех уровнях (федеральном, региональном, местном) для обеспечения безопасности населения и объектов народного хозяйства в природных, техногенных, биолого-социальных и военных ЧС; предотвращение или снижение ущерба в ЧС;

— эффективное использование и экономия материальных и трудовых ресурсов при проведении мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС.

Задача комплекса — установление:

— терминологии в области обеспечения безопасности в ЧС, номенклатуры и классификации ЧС, источников ЧС, поражающих факторов;

— основных положений по мониторингу, прогнозированию и предотвращению ЧС, по обеспечению безопасности продовольствия, воды, сельскохозяйственных животных и растений, объектов народного хозяйства в ЧС, по организации ликвидации ЧС;

— уровней поражающих воздействий, степеней опасности источников ЧС;

— методов наблюдения, прогнозирования, предупреждения и ликвидации ЧС;

— способов обеспечения безопасности населения и объектов народного хозяйства, а также требований к средствам, используемым для этих целей.

Обозначение отдельного стандарта в комплексе состоит из индекса (ГОСТ Р), номера системы по классификатору (ГСС22), номера (шифра) группы (табл. 15.2), порядкового номера стандарта в группе и года утверждения или пересмотра стандарта. Например, ГОСТ Р 22.0.01—94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.

Стандарты группы 0 устанавливают:

— основные положения (назначение, структуру, классификацию) комплекса стандартов;

— основные термины и определения в области обеспечения безопасности в ЧС;

— классификацию ЧС;

Таблица 15.2. **Классификация стандартов, входящих в комплекс стандартов БЧС**

Номер группы	Группа стандартов	Кодовое наименование
0-я	Основополагающие стандарты	Основные положения
1-я	Стандарты в области мониторинга и прогнозирования	Мониторинг и прогнозирование
2-я	Стандарты в области обеспечения безопасности объектов народного хозяйства	Безопасность объектов народного хозяйства
3-я	Стандарты в области обеспечения безопасности населения	Безопасность населения

Номер группы	Группа стандартов	Кодовое наименование
4-я	Стандарты в области обеспечения безопасности продовольствия, пищевого сырья и кормов	Безопасность продовольствия
5-я	Стандарты в области обеспечения безопасности сельскохозяйственных животных и растений	Безопасность животных и растений
6-я	Стандарты в области обеспечения безопасности водоисточников и систем водоснабжения	Безопасность воды
7-я	Стандарты на средства и способы управления, связи и оповещения	Управление, связь, оповещение
8-я	Стандарты в области ликвидации чрезвычайных ситуаций	Ликвидация чрезвычайных ситуаций
9-я	Стандарты в области технического оснащения аварийно-спасательных формирований, средств специальной защиты и экипировки спасателей	Аварийно-спасательные средства
10-я, 11-я	Резерв	

— классификацию продукции, процессов, услуг и объектов народного хозяйства по степени их опасности;

— номенклатуру и классификацию поражающих факторов и воздействий источников ЧС;

— предельно допустимые уровни (концентрации) поражающих факторов и воздействий источников ЧС;

— основные положения и правила метрологического контроля состояния технических систем в ЧС.

Содержание остальных групп стандартов определяется их кодовым наименованием (см. табл. 15.2).

Межотраслевая документация по ЧС представлена также СНиПами и СП Госстроя РФ и НТД МинЧС и Госгортехнадзора РФ (см. замечание-сноску на с. 533).

15.2. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ

Управление охраной окружающей природной среды. На федеральном уровне оно осуществляется Федеральным собранием, Президентом, Правительством РФ и специально уполномоченными на то органами, главным из которых является Министерство природных ресурсов РФ.

На региональном уровне управления охраной окружающей среды ведется представительными и исполнительными органами власти, местными органами самоуправления, а также территориальными органами указанных выше специально уполномоченных ведомств.

На всех уровнях разработка обязательных для исполнения предписаний по проведению мероприятий, обеспечивающих санитарно-эпидемиологическое благополучие населения, возложена на органы Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Они же осуществляют согласование разрешений на все основные виды природопользования.

На промышленных объектах для управления охраной окружающей среды (ООС) создаются отделы охраны природы (охраны окружающей среды) либо их функции выполняет какое-либо подразделение предприятия (например, отдел главного механика). Во всех случаях негативные воздействия на атмосферу, гидросферу и почвы должны ограничиваться и необходимо вести постоянный производственный контроль за состоянием этих сред.

Основой управления охраной окружающей среды являются законодательные и подзаконные акты, рассмотренные выше, которые предполагают единую систему управления в стране, а также международное сотрудничество в области охраны природы. Управление ООС базируется на информации, получаемой системой мониторинга окружающей среды. Эта система состоит из трех ступеней: наблюдения, оценки состояния и прогноза возможных изменений. Мониторинг осуществляет наблюдение за антропогенными изменениями, а также за естественной малоизмененной природой. В системе различают три уровня: санитарно-токсический, экологический и биосферный.

Санитарно-токсический мониторинг — наблюдение за состоянием качества окружающей среды, главным образом за степенью загрязнения природных ресурсов вредными веществами и влиянием этого процесса на человека, животный и растительный мир, а также определение наличия шумов, аллергенов, пыли, патогенных микроорганизмов, неприятных запахов, сажи; контроль за содержанием в атмосфере оксидов серы и азота, оксида углерода, соединений тяжелых металлов, за качеством водных объектов, степенью загрязнения их различными органическими веществами, нефтепродуктами осуществляется Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека и Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет совместно с МЧС).

Экологический мониторинг — определение изменений в экологических системах (биогеоценозах), природных комплексах и их продуктивности, а также выявление динамики запасов полезных ископаемых, водных, земельных и растительных ресурсов — производит-

ся органами Росгидромета РФ и Федеральными органами исполнительной власти, подведомственными Минприродресурсов РФ.

Биосферный мониторинг осуществляется в рамках глобальной системы мониторинга окружающей среды (ОСМОС) на базе международных биосферных станций, восемь из которых располагаются у нас в стране.

Государственная наблюдательная сеть за загрязнением окружающей среды Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды имеет следующий количественный состав (по состоянию на 01.01.2003 г.).

Наблюдения за загрязнением атмосферы проводят регулярно в 229 городах и населенных пунктах Российской Федерации на 623 стационарных постах Росгидромета. В большинстве городов измеряют концентрации от 5 до 25 веществ.

Наблюдения за загрязнением поверхностных вод суши по гидробиологическим показателям производят в шести гидрографических районах на 133 водных объектах по 323 створам. Программа наблюдений включает от 2 до 6 показателей.

Наблюдения за загрязнением морской среды по гидрохимическим показателям проводят на 160 станциях в прибрежных районах восьми морей, омывающих территорию Российской Федерации. В отобранных пробах определяют до 24 ингредиентов.

Сеть станций наблюдения трансграничного переноса веществ ориентирована на западную границу Российской Федерации. На четырех станциях наблюдений производят отбор и анализ атмосферных аэрозолей, газов (диоксидов азота и серы) и атмосферных осадков.

Пунктами *сети наблюдений за загрязнением почв* являются сельскохозяйственные угодья (поля), лесные массивы зон отдыха и прибрежных зон. Отбор проб почв на содержание пестицидов 21 наименования выполнен в хозяйствах 190 районов, на содержание до 24 ингредиентов промышленного происхождения проводился на территории 41 города.

Наблюдениями за загрязнением поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям охвачены 1182 водных объекта. Отбор проб по физическим и химическим показателям с одновременным определением гидрологических показателей приведен на 1716 пунктах.

Сеть станций, осуществляющих *наблюдения за химическим составом и кислотностью осадков,* состоит из 123 станций федерального уровня, отбирающих на химический анализ суммарные пробы, и 131 пункта, на которых в оперативном порядке изменяется только величина pH.

Систему контроля загрязнения снежного покрова на территории России осуществляют на 536 пунктах. В пробах определяют ионы сульфата, нитрата аммония, значение pH, а также бенз(а)пирен, тяжелые металлы.

Система фонового мониторинга ориентирована на получение информации о состоянии природной среды на территории Российской Федерации, на основании которой проводят оценки и прогноз изменения этого состояния под влиянием техногенных факторов. На территории России находятся 5 станций комплексного фонового мониторинга, которые расположены в биосферных заповедниках: Воронежском, Приокско-Террасном, Астраханском, Кавказском, Алтайском.

Наблюдения за радиационной обстановкой окружающей среды на стационарной сети осуществляют на 1312 пунктах. Гамма-спектрометрический и радиохимический анализы проб проводят в специальных радиометрических лабораториях.

В 2000 г. в РФ введен социально-гигиенический мониторинг, контролирующий, кроме среды обитания, состояние здоровья населения, а также социальные факторы: условия труда, быта, включая климатические условия, качество питания, водоснабжение и т. п. Его организация возложена на Федеральную службу по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Его проведение — на Росгидромет РФ, Минздравсоцразвития РФ, Федеральные органы исполнительной власти и ряд других ведомств.

Министерство здравоохранения и социального развития изучает динамику заболеваний в регионах в зависимости от изменения состояния окружающей среды, контроль которой осуществляют территориальные органы Росгидромета РФ, Федеральные службы по экологическому, техническому и атомному надзору и Федеральные службы по защите прав потребителей и благополучия человека (санэпидемнадзор).

Локальный санитарно-токсический мониторинг реализуется в городах и населенных пунктах, на автодорогах и на отдельных предприятиях. Правила контроля состояния окружающей среды установлены стандартами системы стандартов «Охрана природы». ГОСТ 17.2.3.01—86 формулирует правила контроля качества воздуха населенных пунктов.

Они устанавливают три категории постов наблюдений за загрязнением атмосферы: стационарные, маршрутные, передвижные (подфакельные). Стационарный пост предназначен для непрерывной регистрации содержания загрязняющих веществ и регулярного отбора проб воздуха для последующих анализов; маршрутные — для регу-

лярного отбора проб воздуха в фиксированной точке местности при наблюдениях, которые проводятся по графику последовательно во времени в нескольких точках. Передвижной (подфакельный) пост необходим для отбора проб дымовым (газовым) факелом.

Число стационарных (маршрутных) постов и их размещение определяется с учетом численности населения, площади населенного пункта и рельефа местности, а также развитости промышленности и расположения ее объектов по территории города, рассредоточенности мест отдыха и курортных зон.

В зависимости от численности населения устанавливают следующее минимальное число стационарных постов: до 50 тыс. жителей — один пост, 50...100 тыс.— два поста; 100...200 тыс.— два-три поста; 200...500 тыс. — три-пять постов; 0,5...1 млн — пять-десять; 1...2 млн — 10...15; более 2 млн — 15...20 постов. В населенных пунктах со сложным рельефом (возвышенные места и впадины) и значительным числом источников загрязнения один стационарный пост устанавливают на площади 5...10 $км^2$, в равнинной местности — один стационарный пост на 10...20 $км^2$.

Места отбора проб при подфакельных наблюдениях выбирают на разных расстояниях от источника загрязнения в зоне рассеяния последнего. Общее их число определяют с учетом высоты и мощности выброса, а также особенностей размещения селитебных территорий.

На стационарных постах устанавливают три программы наблюдений: полную, неполную, сокращенную. Наблюдения по полной программе выполняют для получения оперативной информации о среднесуточной концентрации ежедневно в часы 01, 07, 13, 19 по местному декретному времени. Допускается (при невозможности выполнения полной программы) проводить наблюдения по скользящему графику 06, 10, 13 ч во вторник, четверг, субботу и в 15, 16, 21 ч в понедельник, среду, пятницу.

По полной программе устанавливают наблюдения за содержанием пыли, сернистого газа, оксида углерода, диоксида азота (основные загрязняющие вещества) и за специфическими веществами, которые свойственны промышленным выбросам данного населенного пункта.

Перечень специфических веществ для контроля на каждом стационарном посту в городе устанавливается органами гидрометеорологической и санитарно-эпидемиологической службы Министерства здравоохранения РФ с учетом данных инвентаризации источников выброса в атмосферу.

Наблюдения по неполной программе разрешается проводить в целях получения оперативной информации ежедневно в 07, 13, 19 ч

местного декретного времени. Наблюдения за основными и специфическими загрязняющими веществами проводят в этом случае по программе, согласованной с органами Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

По сокращенной программе наблюдения за основными загрязняющими веществами и за одним-двумя наиболее распространенными специфическими загрязняющими веществами проводят ежедневно в 07 и 13 ч местного декретного времени. Эти наблюдения допускаются в районах с температурами воздуха ниже – 45°С и в местах, где систематически в течение месяца отмечаются концентрации загрязняющих веществ ниже порога чувствительности метода анализа данного вещества. Пробы воздуха отбирают на высоте 1,5...2,5 м от поверхности земли.

Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.5.980—00 устанавливают требования к организации надзора и контроля воды и водных объектов. Состав и свойства воды должны определяться на расстоянии не более 500 м по течению от места сброса сточных вод на водотоках и в радиусе 500 м от места сброса на акватории на непроточных водоемах.

При сбросе сточных вод в черте населенных мест указанный пункт контроля должен быть расположен непосредственно у места сброса.

ГОСТ 17.1.3.08—82 устанавливает правила контроля качества морских вод.

Организация контроля состояния окружающей среды в регионах возложена на местные органы Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Ведется контроль атмосферы, гидросферы и почв вблизи транспортных магистралей и предприятий.

В селитебных зонах отбор проб воздуха, воды и почв организуется также предприятиями. Эту работу производят, как правило, их санитарно-промышленные лаборатории.

Контроль выбросов промышленных предприятий и транспортных средств сводится к определению их фактической величины и сопоставлению ее с величиной ПДВ. Применительно к промышленным предприятиям правила установления ПДВ определены ГОСТ 17.2.3.02—78. Порядок контроля выбросов разрабатывают сами предприятия. Контролю подлежат выбросы, поступающие от дымовых труб; вытяжных систем плавильных и разливочных агрегатов; сушильных установок; нагревательных и электротермических печей кузнечно-прессовых и термических цехов; шихтовых дворов; участков очистки и обрубки отливок; участков приготовления формовоч-

ных и стержневых смесей; цехов механической обработки материалов, сварочных постов и оборудования для резки металлов и сплавов; отделений для нанесения химических, электрохимических и лакокрасочных покрытий, от газоходов и воздуходов, отводящих загрязненный газ; от испытательных станций.

При контроле ПДВ основными должны быть прямые методы измерения концентраций вредных веществ и объемов газовоздушной смеси в местах их непосредственного выброса или после газоочистных установок. Выбросы веществ определяют в течение 20 мин, а также в среднем за сутки, месяц, год. Если продолжительность выброса вещества менее 20 мин, то контроль производят по полному выбросу вредного вещества за это время.

Обследование производят в период работы оборудования на рабочем (проектном) режиме; при нестационарной работе оборудования измерения следует производить в период максимального выброса вредных веществ.

Применительно к транспортным средствам с бензиновыми двигателями нормы и методы измерения содержания оксида углерода и углеводородов определены ГОСТ 17.2.2.03—87, нормы и методы измерения выбросов тракторных и комбайновых двигателей — ГОСТ 17.2.2.05—86. Методы измерения вредных веществ в отработавших газовых дизельных ДВС установлены ОСТ 37.001.234—81, а дымности отработанных газов — ГОСТ 21393—75*. Контроль выбросов транспортных средств производится их владельцами в соответствии с методикой ОНД —90.

В 1999 г. в стране введены в качестве стандартов РФ стандарты ИСО серии 14000 «Системы управления окружающей средой» (СУОС), которые применимы к общим принципам административного управления как и стандарты системы управления качеством 9000, т. е. могут быть реализованы в рамках любой существующей системы управления. Основными требованиями к СУОС предприятия являются:

1. Разработка руководством организации экологической политики, соответствующей характеру, масштабам и воздействиям на окружающую среду деятельности организации, ее продукции, услуг.

2. Планирование работ по охране окружающей среды и рационального природопользования на основе постоянной идентификации экологических аспектов деятельности организации, продукции и услуг и влияния наиболее выраженных из них для установления плановых экологических показателей, сроков их достижения, ответственных лиц.

3. Обеспечение внедрения и функционирования СУОС путем создания ее структуры и распределения обязанностей по охране окружающей среды между всеми руководителями подразделений и должностными лицами, связанными с деятельностью СУОС, с возложением на них ответственности за эту работу.

4. Проведение проверок и корректирующих действий для обеспечения действенности СУОС, что, в частности, может быть достигнуто за счет проведения экологического аудита.

5. Анализ функционирования СУОС со стороны руководства и принятие мер по ее дальнейшему улучшению (коррекция экологической политики и (или) программ по охране окружающей среды, соответствующее изменение структуры СУОС и т. д.).

Разработка СУОС не является обязательной, но при их создании выполнение перечисленных требований необходимо.

Управление охраной труда. Оно осуществляется в соответствии с Федеральным законом «Об основах охраны труда» Министерством здравоохранения и социального развития РФ и подчиненными ему федеральными агентствами и службами и их территориальными органами. Отметим, в частности, Федеральную службу по труду и занятости, представители которой наделены широкими полномочиями по надзору и контролю за выполнением законодательства по охране труда.

Государственная экспертиза условий труда осуществляется Всероссийской государственной экспертизой условий труда и государственными экспертизами условий труда субъектов Федерации. В Федеральных органах исполнительной власти (министерствах, ведомствах) для проведения ведомственного управления и контроля в обязательном порядке организуются отделы охраны труда.

Система управления охраной труда (СУОТ) на предприятии предусматривает участие в ней всех представителей администрации, начиная от бригадиров и мастеров и кончая главным инженером и директором. Каждый в пределах своих должностных обязанностей отвечает за обеспечение безопасности труда. Кроме того, ряд подразделений выполняют специальные функции управления охраной труда.

Организация и координация работ по охране труда возложена на службы (или специалиста) охраны труда. Кроме того, эта служба в соответствии с Рекомендациями по организации работы службы охраны труда в организации* проводит анализ состояния и причин производственного травматизма и профессиональных заболеваний, совместно с соответствующими службами предприятия разрабатывает ме-

---

* Минтруд, 2000 г.

роприятия по предупреждению несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, а также организует их внедрение; организует работу на предприятии по проведению проверок технического состояния зданий, сооружений, оборудования цехов на соответствие их требованиям безопасности, аттестации рабочих мест в части условий труда и техники безопасности, по обеспечению здоровых условий труда; проводит вводный инструктаж и оказывает помощь в организации обучения работников по вопросам охраны труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004—90 и действующими нормативными документами; участвует в работе аттестационной комиссии и комиссий по проверке знаний инженерами, техниками и служащими правил и норм по охране труда, инструкций по технике безопасности, а также выполняет некоторые другие функции.

Для выработки управленческих решений необходимы учет, анализ, оценка показателей состояния охраны условий труда. Для этого используются обобщенные показатели.

Для оценки состояния охраны труда на производственных участках и в цехах рекомендуется применять обобщенный коэффициент уровня охраны труда.

$$K_{от} = (K_{сп} + K_{б} + K_{впр})/3,$$

где $K_{сп}$ — коэффициент уровня соблюдения правил охраны труда работающими; $K_{б}$ — коэффициент безопасности оборудования; $K_{впр}$ — коэффициент выполнения плановых работ по охране труда.

Коэффициент уровня соблюдения правил охраны труда работающими определяется соотношением:

$$K_{сп} = \frac{\text{Число работающих с соблюдением правил}}{\text{Общее число работающих}}.$$

Для определения $K_{сп}$ на предприятии вводится карта уровня соблюдения правил охраны труда для участка и цеха.

Коэффициент безопасности $K_{б}$ единицы оборудования определяется отношением числа показателей (требований) безопасности, соответствующих НТД по безопасности труда $T_{б}$, к общему числу показателей (требований) безопасности, относящихся к данному оборудованию $T_{о}$.

Для контроля за уровнем безопасности производственного оборудования на участках и в цехах вводятся коэффициенты безопасности участка $K_{бу}$ и цеха $K_{бц}$:

$$K_{бу} = (K_{б1} + K_{б2} + ... + K_{бn})/n,$$

где $K_б$ — коэффициент безопасности единицы эксплуатируемого оборудования на участке; n — число единиц оборудования на участке,

$$K_{бц} = (K_{бу1} + K_{бу2} + ... + K_{буN})/N,$$

где $K_{бу}$ — коэффициент безопасности участка; N — число участков в цехе.

Коэффициент выполнения плановых работ по охране труда $K_{впр}$ определяется отношением числа фактически выполненных и предусмотренных на данный месяц мероприятий по всем видам планов, предписаний, приказов.

Для комплексной оценки условий труда используется гигиеническая классификация труда (Р 2.2.755—99). Она предусматривает учет каждого фактора, характеризующего вредность и опасность производственной среды, а также факторов, характеризующих тяжесть и напряженность трудового процесса (см. п. 5.3).

Важнейшей функцией СУОТ является контроль состояния охраны и условий труда, результаты которого являются основой для принятия управленческих решений. Основными видами контроля охраны труда являются: оперативный контроль руководителя работ и других должностных лиц; контроль требований безопасности труда при аттестации рабочих мест; контроль, осуществляемый службой охраны труда предприятия; ведомственный контроль вышестоящих организаций; контроль, осуществляемый органами государственного надзора.

Оперативный контроль осуществляется администрацией на всех уровнях ежедневно в масштабах руководимых ею подразделений, групп, бригад. Особая роль при этом принадлежит мастерам и бригадирам, осуществляющим перед началом работы проверку соответствия требованиям безопасности оборудования, средств защиты, инструмента, приспособлений, организации рабочего места, а в процессе работы контроль за безопасностью ее проведения.

При аттестации рабочих мест наряду с оценкой технического уровня оснащения рабочих мест и их организации проводится анализ их соответствия требованиям охраны труда как в части условий труда, так и в части проводимых технологических процессов, используемого оборудования и средств защиты. В состав аттестационных комиссий входят главные специалисты, а также работники служб охраны труда, а в состав аттестационных комиссий цехов — мастера и бригадиры.

По результатам проверки соответствия рабочего места требованиям безопасности заполняют карты аттестации рабочих мест, в которых фиксируются нормативное и фактическое значение факторов,

характеризующих условия труда, величины отклонения их от нормы, наличие и степени выраженности тяжести и напряженности труда, наличие соответствия требованиям безопасности средств коллективной и индивидуальной защиты, средств обучения, соответствие требованиям безопасности оборудования, а также производится гигиеническая классификация условий труда согласно Р 2.2.755—99 (см. раздел 3 учебника).

Аттестационная комиссия выносит решение либо об аттестации рабочего места, либо его рационализации, либо его ликвидации. При классе условий труда 4 рабочее место подлежит безусловной ликвидации. В основе принятия решения кроме учета класса условий труда, лежит технико-экономический анализ, который включает: рассмотрение предложений по его совершенствованию; определение потребности в нем с точки зрения планов производства и анализа технологических процессов; расчет эффективности от доведения его до нормативного уровня и необходимых для этого затрат; выявление технических, материальных и финансовых возможностей предприятия для рационализации рабочего места.

На базе результатов аттестации рабочих мест проводится сертификация работ по охране труда в организациях. Проверяется и оценивается деятельность работодателя по обеспечению безопасных условий труда, а также соответствующая работа службы охраны труда. Указанные процедуры выполняют органы по сертификации, аккредитованию в установленном порядке. При необходимости проводятся измерения уровня производственных факторов силами аккредитованных измерительных лабораторий. На основе анализа результатов проверки и оценки соответствия работ по охране труда в организации установленным государственным нормативным требованиям охраны труда орган по сертификации принимает решение о выдаче сертификата безопасности (либо об отказе о его выдаче). В перспективе планируется учитывать наличие этого сертификата при определении страховых платежей организации.

Контроль тяжелых, особо тяжелых, вредных и особо вредных условий труда — одна из важнейших задач работодателя при оценке условий труда и аттестации рабочих мест. Это связано с наличием целого ряда льгот и компенсаций, положенным лицам, занятым на этих работах (дополнительный отпуск, сокращенный рабочий день, доплаты к зарплате, право на бесплатное получение молока или лечебно-профилактического питания, льготная пенсия). Официальное заключение об оценке условий труда дают органы экспертизы условий труда объектов РФ.

При оценке условий труда и аттестации рабочих мест используют, как правило, санитарно-промышленные лаборатории. Возможно использование санитарно-эпидемиологических станций, лабораторий вузов* и т. п. Метрологическое обеспечение работ в области безопасности труда и в том числе по оценке условий труда и аттестации рабочих мест определено ГОСТ 12.0.005—84.

Контроль, осуществляемый службой охраны труда предприятия, реализуется в нескольких формах.

Целевые проверки ставят своей задачей контроль производственного оборудования по определенному признаку. Например, проверка соответствия требованиям безопасности электроприводов, систем пневматики и гидравлики, средств защиты от механического травмирования. Кроме того, объектом контроля могут быть средства коллективной защиты в производственных помещениях (системы вентиляции, кондиционирования, отопления, освещения, системы удаления отходов и т. п.). Контроль, как правило, проводится в масштабах нескольких цехов.

Комплексные проверки проводятся в одном цехе. Объектом контроля является производственное оборудование, которое проверяется на соответствие комплексу требований безопасности, установленных стандартами ССБТ. Работники отделов охраны труда совместно с работниками служб стандартизации принимают участие в контроле за внедрением и соблюдением стандартов ССБТ, организуют проведение замеров параметров опасных вредных производственных факторов.

С 01.01.2003 г. введен в действие ГОСТ 12.0.006—02 «ССБТ. Общие требования к управлению охраной труда в организации» по своим подходам абсолютно аналогичный стандартам серии Р ИСО 14000, определяющим требования к системам управления окружающей средой, которые были рассмотрены выше. ГОСТ 12.0.006—02 не обязывает предприятия и организации иметь системы управления охраной труда, но при их создании все требования этого стандарта должны быть выполнены. Требования указанного стандарта могут быть реализованы, так же как и требование стандартов Р ИСО 14000 при любой структуре системы управления.

Ведомственный контроль реализуется в виде целевых и комплексных проверок производственного оборудования и технологических процессов, которые проводят комиссии во главе с главными специалистами министерств и территориальных управлений. Государствен-

* При наличии соответствующей лицензии.

ный надзор за выполнением требований охраны труда осуществляют специальные органы. Главным надзорным органом по охране труда является Министерство здравоохранения и социального развития РФ, контролирующее выполнение законодательства о труде и охране труда силами подведомственных ему государственных инспекций труда, являющихся его территориальными органами.

Государственный санитарно-эпидемиологический надзор, осуществляемый органами Федеральной службы по защите прав потребителей и благополучия человека, проверяет выполнение предприятиями и организациями санитарно-гигиенических и санитарно-противоэпидемиологических норм и правил.

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору контролирует правильность устройства и эксплуатации электрических и теплоиспользующих установок, проверяет правильность устройства и безопасной эксплуатации установок повышенной опасности, в том числе подъемно-транспортных машин, сосудов под давлением, контролирует источники ионизирующих излучений.

На *Государственный пожарный надзор* возложен контроль за выполнением требований пожарной профилактики при проектировании и эксплуатации производственных помещений и зданий в целом. Он организуется и осуществляется государственной противопожарной службой МЧС РФ.

Одной из основ принятия управленческих решений является анализ причин производственного травматизма. Травмы на производстве следует отличать от других видов травм. Различают бытовые травмы, несчастные случаи, не связанные с производством (непроизводственные трудовые увечья), и несчастные случаи на производстве. Порядок их расследования, оформления, назначения и выплаты пособий по временной нетрудоспособности различен. При временной нетрудоспособности, наступившей вследствие бытового несчастного случая, пособие выплачивается начиная с шестого дня (т. е. за первые пять дней нетрудоспособности пособие не выплачивается). Размер пособия при этом зависит, как и при общих заболеваниях, от стажа непрерывной работы пострадавшего.

Несчастные случаи, не связанные с производством, оплачиваются с первого дня временной нетрудоспособности в полном объеме. Компенсация постоянной потери трудоспособности при инвалидности, как и при бытовых травмах, может быть определена (при наличии чьей-то конкретной вины) через суд. Примером таких травм являются травмы, полученные по пути на работу и с работы не на транспорте, предоставленном предприятием, при выполнении гособязанностей, гражданского долга и некоторые другие.

При несчастных случаях на производстве компенсация потери трудоспособности производится так же, как в предшествующем случае, с той лишь разницей, что компенсация потери трудоспособности при инвалидности производится самим предприятием (организацией), а для застрахованных лиц — организацией-страховщиком*.

В соответствии с указанным выше «Положением о порядке расследования несчастных случаев на производстве» расследованию и учету подлежат несчастные случаи (травма, в том числе полученная в результате нанесения телесных повреждений другим лицом, острое отравление, тепловой удар, ожог, обморожение, утопление, поражение электрическим током, молнией и ионизирующим излучением, укусы насекомых и пресмыкающихся, телесные повреждения, нанесенные животными, повреждения, полученные в результате взрывов, аварий, разрушения зданий, сооружений и конструкций, стихийных бедствий и других чрезвычайных ситуаций), повлекшие за собой необходимость перевода работника на другую работу, временную или стойкую утрату им трудоспособности либо его смерть и происшедшие при выполнении работником своих трудовых обязанностей (работ) на территории организации или вне ее, а также при следовании к месту работы или с работы на предоставленном работодателем транспорте, либо на личном транспорте при соответствующем договоре или распоряжении работодателя о его использовании в производственных целях; при следовании к месту командировки и обратно; при привлечении работника в установленном порядке к участию в ликвидации последствий катастрофы, аварии и других чрезвычайных происшествий природного и техногенного характера; при осуществлении не входящих в трудовые обязанности работника действий, но совершаемых в интересах работодателя или направленных на предотвращение аварии или несчастного случая и в некоторых других случаях.

Действие Положения распространяется на:

— работников, выполняющих работу по трудовому договору (контракту);

— граждан, выполняющих работу по гражданско-правовому договору;

— студентов образовательных учреждений высшего и среднего профессионального образования, студентов и учащихся образовательных учреждений высшего, среднего, начального профессионального образования и образовательных учреждений основного общего

---

* Она же оплачивает им временную нетрудоспособность.

образования, проходящих производственную практику в организациях;

— лиц, осужденных к лишению свободы и привлекаемых к труду администрацией организации;

— других лиц, участвующих в производственной деятельности организации или индивидуального предпринимателя.

Несчастный случай на производстве является страховым случаем, если он произошел с работником, подлежащим обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

Работодатель или лицо, им уполномоченное (далее именуется работодатель), обязан:

— обеспечить незамедлительное оказание пострадавшему первой помощи, а при необходимости доставку его в учреждение скорой медицинской помощи или любое иное лечебно-профилактическое учреждение;

— организовать формирование комиссии по расследованию несчастного случая;

— обеспечить сохранение до начала расследования обстоятельств и причин несчастного случая обстановки на рабочем месте и оборудования такими, какими они были на момент происшествия (если это не угрожает жизни и здоровью работников и не приведет к аварии).

В течение суток сообщить о несчастном случае в исполнительный орган Фонда социального страхования РФ (по месту регистрации в качестве страхователя), если несчастный случай на производстве произошел с застрахованным;

— сообщать в течение суток по форме, установленной Министерством труда РФ, о каждом групповом несчастном случае (два и более пострадавших), несчастном случае со смертельным исходом в:

— государственную инспекцию труда;

— прокуратуру по месту, где произошел несчастный случай;

— орган исполнительной власти субъекта РФ;

— соответствующий федеральный орган исполнительной власти;

— орган государственного надзора, если несчастный случай произошел в организации (на объекте), подконтрольной этому органу;

— организацию, направившую работника, с которым произошел несчастный случай;

— соответствующий профсоюзный орган.

Расследование несчастных случаев проводится комиссией, образуемой из представителей работодателя, а также профсоюзного орга-

на или иного уполномоченного работниками органа. Состав комиссии утверждается приказом. Руководитель, непосредственно отвечающий за безопасность производства, в расследовании не участвует.

В случае острого отравления или радиационного воздействия, превысившего установленные нормы, в состав комиссии включается также представитель органа санитарно-эпидемиологической службы РФ. При несчастных случаях, происшедших в организациях и на объектах Госгортехнадзора РФ, состав комиссии утверждается руководителем соответствующего территориального органа, и возглавляет комиссию представитель этого органа.

Каждый работник имеет право на личное участие в расследовании происшедшего с ним несчастного случая.

По требованию пострадавшего (а при его смерти его родственников) в расследовании несчастного случая может принимать участие его доверенное лицо.

Несчастные случаи, происшедшие с работниками, направленными сторонними организациями, в том числе со студентами и учащимися, проходящими производственную практику, расследуются с участием представителя направившей их организации.

Комиссия по расследованию несчастного случая обязана в течение трех суток* с момента происшествия изучить обстоятельства и причины, при которых он произошел; при случаях, вызвавших потерю у работника трудоспособности на период не менее одного календарного дня или необходимость перевода его на тот же срок с работы по основной профессии на другую работу (согласно медицинскому заключению), или его смерть, составить акт по форме Н-I в двух экземплярах (если несчастный случай произошел с работником другой организации или застрахованным, акт составляют в трех экземплярах), разработать мероприятия по предупреждению несчастных случаев и направить их работодателю для утверждения. Подписанный и утвержденный акт заверяется печатью организации.

Руководитель предприятия (главный инженер) обязан немедленно принять меры к устранению причин, вызвавших несчастный случай. После окончания расследования в течение трех суток один экземпляр утвержденного акта по форме Н-I должен быть передан пострадавшему (или его представителю).

Несчастный случай, о котором пострадавший не сообщил администрации предприятия, цеха в течение рабочей смены или от кото-

---

* При необходимости руководитель комиссии может увеличить срок расследования до 14 дней.

рого потеря трудоспособности наступила не сразу, должен быть расследован по заявлению пострадавшего или заинтересованного лица в срок не более месяца со дня подачи заявления. Вопрос о составлении акта по форме Н-I решается после всесторонней проверки заявления о происшедшем несчастном случае с учетом всех обстоятельств, медицинского заключения о характере травмы и возможной причине потери трудоспособности, показаний очевидцев и других доказательств.

Специальному расследованию подлежат следующие виды несчастных случаев на производстве: групповой несчастный случай, тяжелый несчастный случай, несчастный случай со смертельным исходом. Расследование производится комиссией в составе государственного инспектора труда органа исполнительной власти соответствующего субъекта РФ, представителей работодателя, профсоюзного или иного уполномоченного работниками представительного органа в течение 15 дней.

Количественная оценка производственного травматизма основана на показателях частоты и тяжести несчастных случаев.

Ответственность работодателей, руководителей работ и работников за соблюдение нормативных условий и безопасность деятельности подчиненных, соблюдение нормативных воздействий производства на окружающую среду определена законодательством. За нарушения правил безопасности применяется дисциплинарная или административная ответственность, а в случае с особо тяжелыми последствиями — уголовная.

Управление ЧС. Оно обеспечивается единой государственной системой предупреждения и ликвидации ЧС (РСЧС), принятой Правительством РФ в 2003 г. РСЧС объединяет органы государственного управления РФ всех уровней, различные общественные организации, в компетенцию которых входят функции, связанные с обеспечением безопасности и защиты населения, предупреждением, реагированием и действиями в ЧС. РСЧС обеспечивает координацию сил и средств этих органов управления и организаций по предупреждению ЧС, защите населения, материальных и культурных ценностей, окружающей среды при возникновении аварий, катастроф, стихийных бедствий и применении возможным противником современных средств поражения.

РСЧС включает территориальные и функциональные подсистемы и имеет пять уровней: объектовый, местный, территориальный, региональный и федеральный.

Территориальные подсистемы (республик в составе Российской Федерации, краев и областей) состоят из звеньев, соответствующих принятому административно-территориальному делению.

Функциональные подсистемы состоят из органов управления, сил и средств министерств и ведомств РФ, непосредственно решающих задачи по наблюдению и контролю за состоянием природной среды и обстановки на потенциально опасных объектах, по предупреждению бедствий и ликвидации последствий ЧС.

Координирующими органами РСЧС являются межведомственные и ведомственные комиссии по предупреждению и ликвидации ЧС, региональные центры аналогичного назначения, комиссии по ЧС органов исполнительной власти субъектов РФ, комиссии по ЧС органов местного самоуправления и комиссии по ЧС объектов.

Силы и средства РСЧС в рамках ее подсистем подразделяются на силы и средства:

— наблюдения и контроля;

— ликвидации ЧС.

Первые из них состоят из сил следующих органов:

— контрольно-инспекционной службы Роспотребнадзора России;

— служб и ведомств РФ, осуществляющих контроль и наблюдение за состоянием окружающей природной среды, за обстановкой на потенциально опасных объектах и прилегающих к ним территориях, а также проводящих анализ их воздействия на уровне населения (Ростехнадзора России и др.);

— сети наблюдения и лабораторного контроля гражданской обороны (ГО);

— службы предупреждения о стихийных бедствиях Росгидромета России и АН РФ;

— космических средств наблюдения.

Силы и средства ликвидации чрезвычайных ситуаций включают:

— военизированные и невоенизированные противопожарные, аварийно-спасательные, аварийно-восстановительные формирования министерств, ведомств, организаций РФ;

— учреждения и формирования экстренной медицинской помощи Росздрава России;

— части и подразделения государственной противопожарной службы и поисково-спасательные, аварийно-спасательные, пожарные и пожарно-спасательные формирования МЧС России;

— соединения, воинские части и подразделения войск Гражданской обороны России;

— соединения и воинские части химических и инженерных войск Вооруженных Сил;

— силы и средства поискового и аварийно-спасательного обеспечения Минтранса РФ;

— отряды, службы и специалистов Ассоциации спасательных формирований, а также службы некоторых других ведомств.

Координация планов и мероприятий гражданской обороны и по ликвидации ЧС в целом с экономическими планами производится в рамках бюджетов РФ, субъектов Федерации, а также федеральных органов исполнительной власти. Финансирование мероприятий по ликвидации ЧС производится также за счет средств организаций, находящихся в зоне ЧС, страховых фондов и других источников.

Важными элементами систем управления в области защиты от ЧС являются учет инженерных сооружений ГО и паспортизация их состояния. К такого рода объектам относятся убежища, противорадиационные укрытия, специализированные складские помещения, станции обеззараживания одежды и транспорта и некоторые другие объекты. В их паспортах, кроме ведомственной принадлежности и месторасположения, указываются тип сооружения, степень его защиты, площадь, кубатура, вместимость, количество выходов, тип воздухозаборов, наличие и состояние систем канализации, вентиляции, энергоснабжения и аварийного освещения и некоторые другие данные. Паспорт составляется владельцем сооружений. Контроль за паспортизацией осуществляют инженерные подразделения территориальных органов МЧС.

Другим направлением контроля в РСЧС являются целевые и комплексные проверки готовности к действиям в ЧС. Они осуществляются по линии департамента инспекций и контроля МЧС. В рамках целевых проверок осуществляется либо контроль документации (например, штабов ГО), либо состояния убежищ или других инженерных сооружений, либо обученности формирований постоянной готовности. При комплексной проверке контролируется общая готовность организации (производственного объекта) к действиям в ЧС.

15.3. ЭКСПЕРТИЗА И КОНТРОЛЬ ЭКОЛОГИЧНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ

Экологическая экспертиза. Нормативными показателями экологичности предприятий, транспортных средств, производственного оборудования и технологических процессов являются ПДВ в атмосферу, ПДС в гидросферу, а также нормативы образования и лимиты размещения отходов. К нормативным показателям экологичности технических систем относятся также допустимые уровни физических воздействий (шума, вибрации, ЭПМ и т. д.), обеспечивающие ПДУ в селитебных зонах. Нормативные показатели являются основой для проведения экологической экспертизы. Реализация нормативных

показателей достигается путем повышения экологичности проектов промышленных объектов, оборудования и технологических процессов.

Экологическая экспертиза техники, технологий, материалов включает общественную и государственную экспертизу. Государственная экологическая экспертиза новой продукции — рассмотрение документации (или образцов) новой продукции, проводимое экспертными подразделениями органов государственного управления в области природопользования и охраны окружающей среды на федеральном, республиканском и региональном (территориальном) уровнях.

Общественная экологическая экспертиза проводится общественными организациями (объединениями), основным направлением деятельности которых является охрана окружающей природной среды, в том числе проведение экологической экспертизы, и которые зарегистрированы в установленном порядке.

Цель экологической экспертизы новой продукции — предупреждение возможного превышения допустимого уровня вредного воздействия на окружающую среду в процессе ее производства, эксплуатации (использовании), переработки или уничтожения. Главная задача экологической экспертизы — определение полноты и достаточности мер по обеспечению требуемого уровня экологической безопасности новой продукции при ее разработке, в том числе:

— определение соответствия проектных решений создания новой продукции современным природоохранным требованиям;

— определение полноты и достаточности отражения технических показателей, характеризующих уровень воздействия на окружающую среду новой продукции, в рассматриваемой документации и их соответствие установленным природоохранным нормативам;

— оценка полноты и эффективности мероприятий по предупреждению возможных аварийных ситуаций, связанных с производством и потреблением (использованием) новой продукции, и ликвидации их возможных последствий;

— оценка выбора средств и методов контроля воздействия продукции на состояние окружающей среды и использования природных ресурсов;

— оценка способов и средств утилизации или ликвидации продукции после отработки ресурса;

— определение полноты достоверности и научной обоснованности проведенной оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС).

По результатам экологической экспертизы составляется экспертное заключение, включающее три части: вводную, констатирующую и заключительную.

В вводной части содержатся сведения об экспертируемых материалах, организации их разработавшей, сведения о заказчике, органе, утверждающем указанные материалы. Кроме того, в ней приводятся данные об органе, осуществляющем экспертизу, время ее проведения. В констатирующей части дается общая характеристика отражения экологических требований в представленном на экспертизу проекте. В случае проектирования предприятия, кроме того, дается информация об экологическом состоянии территории, где будет проводиться строительство. Заключительная часть экспертного заключения должна содержать оценку всего комплекса мероприятий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей природной среды. Эта часть должна завершаться выводами о допустимости воздействия на окружающую природную среду хозяйственной или иной деятельности, явившейся объектом экологической экспертизы, и возможности реализации объекта экспертизы.

Экспертное заключение подписывает руководитель экспертной комиссии, ее ответственный секретарь и все ее члены.

В полном объеме оно является обязательным для организаций — авторов проекта, заказчиков и других исполнителей. Экспертное заключение направляется заказчику, территориальному органу Минприродресурсов, органам исполнительной власти субъектов РФ и местным органам самоуправления.

Объектами экспертизы являются проекты технической документации на новые технику, технологию, материалы, вещества, сертифицируемые товары и услуги, которые входят в перечень, утверждаемый федеральным специально уполномоченным государственным органом в области экологической экспертизы, в том числе на закупаемые за рубежом товары, а также на различного вида проекты и документацию, оговоренные в гл. III Закона РФ «Об экологической экспертизе». В их числе:

— проекты генеральных планов развития территорий свободных экономических зон и территорий с особым режимом природопользования и ведения хозяйственной деятельности;

— проекты схем развития отраслей хозяйства Российской Федерации, в том числе промышленности;

— проекты комплексных схем охраны природы Российской Федерации;

— технико-экономические обоснования и проекты хозяйственной деятельности, которая может оказывать воздействие на окружающую природную среду сопредельных государств или для осуществления которой необходимо использование общих с сопредельными государствами природных объектов, или которая затрагивает интересы сопредельных государств, определенные «Конвенцией об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте» и т. д.

Проводят экологическую экспертизу органы Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.

Общественная экологическая экспертиза проводится до проведения государственной экологической экспертизы или одновременно с ней. Общественная экологическая экспертиза может проводиться независимо от проведения государственной экологической экспертизы тех же объектов экологической экспертизы.

Экологический контроль на предприятии. В соответствии с законодательством об охране окружающей среды предприятия должны осуществлять производственный контроль, главной задачей которого является оценка состояния природных сред, на которые предприятие оказывает негативное воздействие, включая территории, к нему прилегающие. Такая оценка должна вестись и инструментальными методами.

Одной из форм контроля является учет такого рода негативных воздействий путем инвентаризации источников выбросов и сбросов, классификации токсичных отходов и их паспортизации, составления ежегодных типовых форм статистической отчетности № 2ТП (воздух), № 2 ТП (водхоз), а также формы № 2ТП (отходы).

С 2000 г. в соответствии с ГОСТ Р 51379—99 введен энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Его разработка и ведение возлагается на организацию-потребителя энергии. Заполняется он по результатам соответствующего обследования силами либо самого потребителя, либо внешней организации (энергонадзора или аудиторской). В паспорт включаются общие сведения о потребителе, сведения о потреблении отдельно электроэнергии, тепловой энергии, котельно-печного и моторного топлива; мероприятия по энергосбережению и повышению эффективности использования энергии, а также выводы. С 2000 г. введен в действие ГОСТ Р 17.0.0.06—00 «Экологический паспорт природопользователя». Он представляет собой документ, содержащий информацию об уровне использования природопользователем ресурсов (природных, вторичных и др.) и степени воздействия его производств на окружающую природную среду, а также сведения о

разрешениях на право природопользования, нормативах воздействий и размерах платежей за загрязнение окружающей природной среды и использование природных ресурсов.

Стандарт устанавливает основные положения по построению, изложению, оформлению и заполнению типовых форм экологического паспорта природопользователя и рекомендуется для разработки и ведения юридическими лицами, независимо от форм собственности осуществляющими хозяйственную или иные виды деятельности и оказывающими воздействие на окружающую природную среду на территории Российской Федерации.

Ответственность за заполнение экологического паспорта несет руководитель организации, контроль за правильностью его заполнения и ведения — территориальный орган Минприродресурсов. Данные паспорта могут использоваться для разработки проектов ПДВ, ПДС, лимитов размещения отходов, а также для заполнения форм статистической отчетности.

Экспертиза безопасности. Она должна производиться как на этапе проектирования, так и при эксплуатации любого вида оборудования, непосредственно обслуживаемого человеком. Первый этап экспертизы может производиться как проектными, так и независимыми общественными организациями.

Применительно к оборудованию и технологическим процессам, имеющим аналоги, как правило, производится расчетная оценка ожидаемого уровня опасных и вредных факторов и сопоставление полученных значений с предельно допустимыми значениями. При создании опытных образцов определяется фактическое значение этих факторов. В случае, если эти значения превышают допустимые величины, установленные стандартами ССБТ, производится доработка оборудования путем введения соответствующих средств защиты или повышения их эффективности. Одновременно, используя статистические данные о травматизме и заболеваниях, устанавливают причины отказов систем, травм, профзаболеваний и разрабатывают соответствующие требования безопасности, в том числе устанавливают соответствующие показатели безопасности.

Применительно к оборудованию и технологическим процессам, не имеющим аналогов, производится идентификация опасностей и связанных с их возникновением опасных и вредных факторов.

Учитывая многообразие связей в системе «человек — машина — окружающая среда» и соответствующее многообразие причин аварий, травматизма и профессиональных заболеваний, для выявления производственных опасностей применяют метод моделирования с использованием диаграмм влияния причинно-следственных связей

на реализацию этих опасностей. Наибольшее распространение получили методы с использованием дерева отказов или дерева происшествий.

Государственная экспертиза условий труда. Задачами государственной экспертизы условий труда являются контроль за условиями и охраной труда, качеством проведения аттестации рабочих мест по условиям труда, правильностью предоставления компенсаций за тяжелую работу и работу с вредными или опасными условиями труда, а также подготовка предложений об отнесении организаций к классу профессионального риска в соответствии с результатами сертификации работ по охране труда в организациях.

Заключение государственной экспертизы условий труда является обязательным основанием для рассмотрения судом вопроса о ликвидации организации или ее подразделения при выявлении нарушения требований охраны труда.

Государственная экспертиза условий труда осуществляется на рабочих местах, при проектировании строительства и реконструкции производственных объектов, при лицензировании отдельных видов деятельности, а также по запросам органов государственного надзора и контроля за соблюдением требований охраны труда и судебных органов, органов управления охраной труда, работодателей, объединений работодателей, работников, профессиональных союзов, их объединений и иных уполномоченных работниками представительных органов.

Государственная экспертиза условий труда осуществляется Всероссийской государственной экспертизой условий труда и государственными экспертизами условий труда субъектов Российской Федерации.

Учет требований безопасности и экологичности при постановке новой продукции на производство. ГОСТ 15.201—00 «Системы разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки постановки продукции на производство» устанавливает специальный порядок постановки новой продукции на производство, позволяющий обеспечить выполнение всех действующих требований безопасности и экологичности. В техническое задание не допускается включать требования, которые противоречат требованиям законов РФ и нормативных документов органов надзора за безопасностью, охраной здоровья и природы.

Согласно этому стандарту, в процессе разработки документации проверка новых технических решений, обеспечивающих достижение новых потребительских свойств продукции, должна осуществляться

при лабораторных, стендовых и других исследовательских испытаниях моделей, макетов, натурных составных частей изделий и экспериментальных образцов продукции в целом в условиях, как правило, имитирующих реальные условия эксплуатации.

Опытные образцы (опытную партию) или единичную продукцию (головной образец) подвергают приемочным испытаниям в соответствии с действующими стандартами или типовыми программами и методиками испытаний, относящимся к данному виду (группе) продукции. При их отсутствии или недостаточной полноте испытания проводят по программе и методике, подготовленным разработчиком и согласованным с заказчиком или одобренным приемочной комиссией.

В приемочных испытаниях, независимо от места их проведения, вправе принять участие изготовитель и органы, осуществляющие надзор за безопасностью, охраной здоровья и природы, которые должны быть заблаговременно информированы о предстоящих испытаниях.

Оценку выполненной разработки и принятие решения о производстве и (или) применении продукции (или едичной продукции) проводит приемочная комиссия, в состав которой входят представители заказчика (основного потребителя), разработчика, изготовителя. При необходимости к работе комиссии могут быть привлечены эксперты сторонних организаций, а также органы, осуществляющие надзор за безопасностью, охраной здоровья и природы.

Контроль требований безопасности и экологичности при эксплуатации оборудования. Для исключения эксплуатации оборудования, не соответствующего требованиям безопасности, производится соответствующая проверка оборудования как перед его первичным задействованием, так и в процессе эксплуатации. Применительно к оборудованию повышенной опасности проводятся специальные освидетельствования и испытания.

При поступлении нового оборудования и машин на предприятие они проходят входную экспертизу на соответствие требованиям безопасности. Она проводится отделом главного механика (главным механиком) с привлечением механика того подразделения (цеха), где его планируют использовать. В случае энергетических систем в проверке участвуют также главный энергетик и энергетик указанного выше подразделения. В случае, если оборудование не соответствует предъявляемым требованиям, оно не допускается к использованию, при этом составляется рекламация в адрес завода-изготовителя.

Ежегодно отдел главного механика проверяет состояние всего парка станков, машин и агрегатов цеха (в том числе и по показателям

безопасности), по результатам которых составляют планы ремонтов и модернизации.

При первом пуске или в случае изменения режима компрессорной установки, а также при пуске после капитального ремонта или другой длительной остановки определяют ее характеристики и сравнивают их с характеристиками, прилагаемыми к паспорту машины и заводской инструкции. При необходимости производится соответствующее регулирование по инструкции завода-изготовителя. Кроме того, периодически снимаются индикаторные диаграммы с компрессорных и силовых цилиндров. Указанный контроль проводят мастер, дежурный инженер или техник. Гидравлическому испытанию подлежат все сосуды под давлением после их изготовления.

Вновь установленные грузоподъемные машины до пуска в работу должны быть подвергнуты полному техническому освидетельствованию. Грузоподъемные краны, находящиеся в работе, должны подвергаться периодическому техническому освидетельствованию: частичному — не реже одного раза в 12 месяцев; полному — не реже одного раза в три года за исключением редко используемых (используемых только при ремонте оборудования), которые должны подвергаться полному техническому освидетельствованию не реже, чем через каждые пять лет.

Возможно внеочередное полное техническое освидетельствование грузоподъемного крана. Оно должно проводиться после монтажа, вызванного установкой грузоподъемной машины на новое место, реконструкции грузоподъемной машины и в некоторых других случаях.

Техническое освидетельствование грузоподъемной машины производится предприятием-владельцем, возлагается на инженерно-технического работника по надзору за грузоподъемными машинами и проводится при участии лица, ответственного за исправное их состояние*. При полном техническом освидетельствовании грузоподъемная машина должна подвергаться осмотру, статическому и динамическому испытаниям. При частичном техническом освидетельствовании статическое и динамическое испытания грузоподъемной машины не производят.

При техническом освидетельствовании грузоподъемной машины должны быть осмотрены и проверены в работе ее механизмы и элек-

---

* Кроме кранов, поставляемых на объект заводами-изготовителями и специальными ремонтными подразделениями в собранном виде после проведения освидетельствования в указанных организациях.

трооборудование, приборы безопасности, тормоза и аппараты управления, а также проверены освещение, сигнализация и габаритные размеры. Кроме того, при техническом освидетельствовании грузоподъемной машины должны быть проверены состояние ее металлоконструкций и сварных (заклепочных) соединений, а также кабины, лестниц, площадок и ограждений; крюка, деталей его подвески; канатов и их крепления; состояния блоков, осей и деталей их крепления, а также элементов подвески стрелы у стреловых кранов; заземление электрического крана с определением сопротивления растеканию тока; соответствие массы противовесов и т. д.

Техническое освидетельствование лифтов следует проводить после монтажа лифта и регистрации его в инспекции Госгортехнадзора, а также периодически, один раз в 12 месяцев. Кроме того, проводят частичное техническое освидетельствование лифта при замене канатов кабины и противовеса, электродвигателя на двигатель с другими параметрами; капитальном ремонте лебедки, тормоза или их замене; замене ловителей, ограничителя скорости и (или) гидравлического буфера (по результатам испытаний соответствующего узла). Частичное техническое освидетельствование без проведения статических и динамических испытаний выполняют также при внесении изменений в электрическую схему управления или при замене электрической проводки цепи управления; при изменении конструкции концевого выключателя, дверных контактов, автоматических замков, этажных переключателей или центрального этажного аппарата.

Техническое освидетельствование лифтов проводит инспектор Госгортехнадзора или представители специализированной обслуживающей организации в присутствии представителей администрации предприятия, которому принадлежит лифт, и лица, ответственного за исправное состояние и безопасную работу лифта.

При статических испытаниях лифтов проверяют прочность механизмов лифта, кабины, канатов, их крепления, действие тормозов, отсутствие проскальзывания канатов в ручьях канатоведущего шкива, надежность электрического торможения без механического тормоза. Статические испытания осуществляют при нижнем положении кабины в течение 10 мин при нагрузках, на 50 % превышающих номинальную грузоподъемность лифта, при испытаниях малых грузовых или грузовых лифтов без проводника, снабженных лебедкой барабанного типа; на 10 % превышающих номинальную грузоподъемность при испытаниях лифтов всех других типов.

При динамических испытаниях кабину лифта нагружают силой, на 100 % превышающей номинальную грузоподъемность, проверяя

при этом действие механического оборудования, тормоза, ловителей и буферов.

Испытания газопроводов на прочность и плотность производится согласно Правилам безопасности в газовом хозяйстве. Величина давления при испытаниях и их длительность регламентируются указанными Правилами в зависимости от вида газопроводов с учетом значения рабочего давления.

Системы отопления испытывают ежегодно перед пуском в эксплуатацию согласно СН и 3.05.03.85. Требования по испытаниям напорных водопроводов определены СНиП 2.04.02—84.

Предупредительный санитарный надзор за системами вентиляции промышленных предприятий проводится согласно методическим указаниям Минздрава СССР № 4425—87 при: проектировании, строительстве, реконструкции или изменении профиля и технологии производства на предприятиях, в цехах, на участках; вводе в эксплуатацию вновь смонтированных и реконструированных систем вентиляции; вводе в эксплуатацию новых типов технологического оборудования, новых технологических процессов и новых токсичных химических веществ.

Новые или реконструированные вентиляционные системы промышленных предприятий принимает в эксплуатацию в установленном порядке специальная комиссия, в которую включается представитель санитарно-эпидемиологической службы. Текущий санитарный надзор за системами вентиляции действующих промышленных предприятий осуществляют в виде выборочного контроля: состояния воздушной среды в рабочей зоне (или на постоянных рабочих местах) и в местах расположения воздухозаборных устройств, а также состояния и режима эксплуатации вентиляционных систем.

Периодичность выборочного контроля определяет санитарный врач, исходя из степени возможного вредного воздействия производственной воздушной среды на данном предприятии на организм работающих, из особенностей технологического процесса и характера производственного оборудования, а также на основе анализа профессиональной заболеваемости на данном предприятии. Обычно контроль проводится в следующие сроки: в помещениях, где возможно выделение вредных веществ 1-го и 2-го классов опасности,— один раз в месяц; систем местной вытяжной и местной приточной вентиляции —1 раз в год; систем общеобменной механической и естественной вентиляции —1 раз в 3 года.

Важное место в повышении безопасности и экологичности машин и установок занимает функциональная диагностика. Она основана на текущем контроле функционирования технической системы.

С этой целью фиксируют показания контрольно-измерительных приборов, регистрирующих изменение рабочих параметров. Одним из методов функциональной диагностики является виброакустический метод. Акустическая и вибрационная диагностика производится непосредственно на этапе эксплуатации оборудования. Исходя из наличия в спектрах шума и вибраций характерных составляющих, определяют дефектные элементы машин, выявляют возникновение аварийных режимов (кавитации в насосах, вибраций металлорежущих станков и электродвигателей и т. п.).

Из других методов функциональной диагностики отметим метод определения и анализа индикаторных диаграмм, широко используемых применительно к компрессорам и холодильной технике (выявление дефектов клапанов, перетечек и т. п.).

15.4. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Россия участвует в международном сотрудничестве, проводимом по линии ООН, ЮНЕСКО и других организаций. С 1973 г. действует специализированное учреждение «Программа ООН по окружающей среде» (ЮНЭП).

Ученые и специалисты России принимают участие в осуществлении специальной международной программы «Человек и биосфера», Международном совете охраны птиц (СПО), Международной федерации молодежи по исследованию и охране окружающей среды Научного комитета по проблемам окружающей среды, Международном совете научных союзов (СКОПЕ). Примером плодотворного межгосударственного сотрудничества в области охраны природы служит деятельность Международного союза охраны природы (МСОП).

Большое значение в решении проблемы охраны природы имело подписание в 1975 г. 33 европейскими государствами, США и Канады «Заключительного акта Совещания по безопасности и сотрудничеству в Европе». По инициативе СССР разработана и действует «Конвенция о запрещении военного и любого иного враждебного использования средств воздействия на природную среду», к которой присоединились многие государства мира. Конвенция ратифицирована нашей страной по Указу Верховного Совета СССР от 16.05.78 г.

По инициативе СССР принята также резолюция «Об исторической ответственности государств за сохранение природы Земли для нынешнего и будущих поколений» (1981 г. XXXV Сессия Генеральной Ассамблеи ООН), в 1982 г. при активном участии СССР принята Генеральной Ассамблеей ООН «Всемирная хартия природы», кото-

рая возлагает на все государства ответственность за сохранение планеты и ее богатств.

В области охраны окружающей среды двустороннее сотрудничество осуществляется между нашей страной и США и включает 11 научно-исследовательских программ и 30 проектов. Оно ведется по следующим направлениям: предотвращение загрязнения воздуха, охрана вод и морской среды от загрязнения; предотвращение загрязнения окружающей среды, связанного с сельскохозяйственным производством; организация заповедников, изучение биологических и генетических последствий загрязнения окружающей среды и др. Сотрудничество с США ведется путем обмена учеными и специалистами, научно-технической информацией, результатами исследований, проведения двусторонних конференций, симпозиумов и совещаний, совместной разработки проектов, программ и др. Аналогичная работа ведется Германией, Англией, Францией, Финляндией, Канадой, Швецией и некоторыми другими странами.

Международное сотрудничество по охране труда осуществляется в рамках Международной организации труда (МОТ), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Федерации специалистов по охране труда и промышленной гигиене (ИФАС), а также Международной организации по безопасности и охране труда (МАРБОТ). МОТ, в частности, разрабатывает рекомендации по нормализации условий труда, ВОЗ — нормативов качества производственной среды, ИФАС координирует разработки по всему комплексу вопросов, связанных с безопасностью труда, МАРБОТ — по вопросам прогнозирования риска и создания средств защиты.

В последние годы успешно развивается сотрудничество и взаимодействие сил гражданской обороны (ГО) стран-членов НАТО и особенно стран-членов Европейского экономического сообщества. В НАТО для координации этой деятельности создан специальный Главный комитет. Комиссией европейских сообществ принята совместная программа стран-участниц по взаимодействию в области гражданской защиты.

В соответствии с достигнутым рядом европейских стран «Открытым частичным соглашением по предотвращению стихийных и технологических бедствий, защите от них и оказанию помощи пострадавшим» в Греции создан Европейский центр предотвращения бедствий и прогнозирования землетрясений (ЕЦПП).

Международной организацией ГО (МОГО) постоянно повсеместно проводится всесторонняя и целенаправленная подготовка руководящего состава организаций, сил ГО и населения к ведению спасательных работ.

В настоящее время университеты России активно работают по учебно-методическим и научно-техническим программам Европейского Союза. Проекты по указанным программам выделяются на конкурсной основе. При этом в каждом проекте должны участвовать не менее двух университетов из стран Европейского Союза и двух университетов из стран СНГ. Основными программами, в которых участвует Россия, являются:

TACIS — программа подготовки персонала предприятий по новым направлениям техники и науки, разработка и внедрение новых учебных планов и программ;

TEMPUS — организация второго образования по наиболее актуальным специальностям, создание международных учебных и научных центров в университетах России;

INTAS —проведение фундаментальных научных исследований;

INCO-COPERNICUS — проведение прикладных научных исследований и разработок.

В каждой из указанных программ имеется перечень приоритетных направлений научных исследований и практически в каждый перечень входят проблемы безопасности жизнедеятельности. Они являются актуальным направлением проектов, организуемых Международным научно-техническим центром.

Контрольные вопросы к главе 15

1. Какие законы по охране окружающей среды вы знаете? Какой из них определил принципы природоохранной политики в РФ?
2. Что из себя представляет экологический паспорт природопользователя и каков порядок его разработки?
3. Какие нормативно-правовые акты определяют требования к системам управления окружающей средой и каковы эти требования?
4. Какова структура системы стандартов «Охрана природы» и принятая в ней система обозначения?
5. Какие органы надзора за охраной труда вы знаете?
6. Как проводится аттестация рабочих мест по условиям труда?
7. Каковы цели и порядок проведения сертификаций работ по охране труда?
8. Какие интегральные критерии оценки условий и охраны труда вы знаете?
9. Что такое экспертиза условий труда? Каковы ее цели? Кто ее проводит?
10. Каков порядок расследования несчастных случаев на производстве?
11. Каковы требования к системам управления охраны труда на предприятии? Документом какого ведомства они установлены?
12. Как производится в РФ управление в области предупреждения и ликвидации ЧС?
13. Какова структура и система обозначения в системе стандартов «Безопасность в ЧС»?
14. Каковы формы проверки готовности к действиям в условиях ЧС?
15. Что включают в себя силы и средства ликвидации ЧС?

Глава 16

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

При рассмотрении экономических аспектов безопасности жизнедеятельности используют понятия:

• *экономического ущерба* от действия опасностей на человека и техносферу, в частности от производственного травматизма и профессиональных заболеваний;

• *эколого-экономического ущерба*, связанного с потерей природных ресурсов, гибелью природных экосистем, естественных ландшафтов, исчезновением отдельных видов и популяций растительного и животного мира, уменьшением многообразия природного мира.

Мероприятия по защите окружающей среды, снижению уровня воздействия опасностей на человека и техносферу, обеспечению требований безопасности и улучшению условий труда, прогнозированию, предотвращению или снижению последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера оцениваются *экономическим эффектом* и *экономической эффективностью* этих мероприятий.

Экономический ущерб от действия опасностей на человека и техносферу — это затраты и потери в стоимостном выражении, возникающие за счет:

• гибели, ухудшения состояния здоровья, профессиональных и экологических заболеваний людей (при экономической оценке принято считать экономические потери, связанные с потерей обществом трудовых ресурсов — людей в работоспособном возрасте, затратами на медицинское обслуживание и лечение, выплатой страхового возмещения, оказанием ритуальных услуг, снижением производительности труда, временной нетрудоспособностью, выплатой пенсий по инвалидности и т. д.);

• более быстрого разрушения и старения основных фондов промышленности (производственного оборудования, зданий и сооружений), связанного с ростом скорости естественной коррозии при загрязнении окружающей среды;

• более быстрого разрушения и старения жилищно-коммунального хозяйства городов и поселков;

• затрат на ликвидацию последствий аварий, чрезвычайных происшествий, стихийных бедствий, восстановление объектов экономики, жилищно-коммунального хозяйства, переселение и реабилитацию населения.

Эколого-экономический ущерб — это затраты и потери в стоимостном выражении, возникающие за счет:

- снижения продуктивности сельскохозяйственных угодий, связанного с загрязнением окружающей среды, затрат на освоение новых земель и улучшение плодородия земли и ее рекультивацию;
- снижения продуктивности леса и затрат на лесовосстановительные работы;
- снижения биоресурсного потенциала страны.

Экономический ущерб от действия опасностей на человека, несоблюдения требований безопасности труда и неблагоприятных условий труда. *Экономический ущерб* $У_{бт}$ от производственного травматизма и профессиональных заболеваний в целом по предприятию, организации можно подсчитать по следующей формуле:

$$У_{бт} = \sum_{i=1}^{6} У_{бт_i} + Н_п, \qquad (16.1)$$

где $\sum_{i=1}^{6} У_{бт_i}$ — сумма потерь возмещения в связи с несчастными случаями, травмами, профессиональными заболеваниями, руб.; $Н_п$ — потери, связанные с недополучением продукции из-за отсутствия работника (стоимость недополученной продукции), руб.

Потери возмещения (ущербы) складываются из следующих составляющих:

$$\sum_{i=1}^{6} У_{бт_i} = У_1 + У_2 + У_3 + У_4 + У_5 + У_6,$$

где $У_1$ — возмещение бюджету государственного социального страхования расходов на выплату пособий по временной нетрудоспособности, если нетрудоспособность возникла по вине предприятия, организации, руб.; $У_2$ — возмещение органам социального обеспечения сумм пенсий (или части пенсии) инвалидам труда, если инвалидность наступила по вине предприятия, организации, руб.; $У_3$ — выплата пособий нетрудоспособным членам семьи в случае смерти работника от болезни или травмы, связанных с производством (за потерю кормильца), руб.; $У_4$ — выплата пособий при временном переводе работников на другую работу по состоянию здоровья (возмещение сократившегося заработка), руб.; $У_5$ — возмещение ущерба работающим при частичной потере трудоспособности (доплата до среднего заработка), если при временном переводе на другую работу или частичной утрате трудоспособности оплата пострадавшему производится по ра-

нее занимаемой должности, то $У_4$ и $У_5$ из расчета исключаются, руб.; $У_6$ — затраты предприятия на профессиональную подготовку и переподготовку работающих, принимаемых на работу взамен выбывших по болезни и в связи с травмой, а также из-за неудовлетворенности условиями труда в силу их вредности и тяжести (возмещение потери трудового ресурса), руб.

Прочие потери возмещения (ущербы) из-за их незначительности можно не учитывать. Источником получения данных по величинам $У_1$, $У_2$, $У_3$, $У_4$, $У_5$ является бухгалтерия предприятия.

$У_6 = ЧС$, где $Ч$ — число уволившихся из-за травм и профессиональных заболеваний (по данным отдела кадров); $С$ — стоимость обучения одного человека на данном предприятии, руб. (по данным бухгалтерии).

Каждый из составляющих ущерба $У_{6т_i} = У_{т_i} + У_{з_i}$, где $У_{т_i}$ — потери возмещения (ущербы), обусловленные травмами; $У_{з_i}$ — потери возмещения (ущербы), обусловленные профессиональными заболеваниями.

Экономический ущерб от производственного травматизма и профессиональных заболеваний определяется не только потерями возмещения, но и условной стоимостью недополученной продукции в связи с выбытием работающего из производственного процесса, которая определяется в формуле (16.1) членом $Н_п$, в руб.

В общем виде условная стоимость недополученной продукции (условные потери прибавочного продукта) определяются произведением числа дней нетрудоспособности из-за травматизма и профессиональных заболеваний на среднюю стоимость продукции, вырабатываемой работающим за один день. Условная стоимость недополученной продукции в целом по предприятию может быть определена путем суммирования стоимости недополученной продукции на каждом рабочем месте, где отсутствовал работник по причине получения травмы или профессионального заболевания, по формуле

$$Н_п = \sum_{j=1}^{n} Д_j С_j = \sum_{j=1}^{n} Д_j З_j \eta,$$

где n — число рабочих мест на предприятии, на которых не выполнялась работа по причине отсутствия работника; $Д_j$ — число потерянных на j рабочем месте трудовых дней по причине нетрудоспособности работника; $С_j$ — средняя стоимость продукции, вырабатываемой работником на рабочем месте j в день, руб.; $З_j$ — средняя заработная плата в день одного работающего на рабочем месте j, руб.; η — коэффициент стоимости прибавочного продукта, создаваемого в день на

рабочем месте, по отношению к среднедневной заработной плате, зависит от отрасли и вида предприятия, в среднем принимается 1,4...1,5.

Анализ размеров ущерба, наносимого предприятию производственным травматизмом и профессиональными заболеваниями, используются в практике управления охраной труда для планирования первоочередных мероприятий по созданию безопасных и безвредных условий труда, экономического обоснования принимаемых решений.

Расчет ущерба может проводиться за разные периоды времени, но, как правило, рассчитывается годовой ущерб. В этом случае все составляющие ущерба и количество дней нетрудоспособности рассчитываются за год.

Определение материального ущерба и числа жертв при ЧС. Нанесенный ЧС материальный ущерб складывается из прямого (разрушение промышленных объектов) и косвенного ущербов (недополученный доход, товары, материальные ценности).

Для определения прямого ущерба необходимо знать стоимость основных фондов производства до и после момента наступления ЧС. Их разность и есть размер прямого материального ущерба. Для его определения необходимо располагать данными о степени поражения объекта. Она определяется исходя либо из численного значения пораженной площади объекта по отношению к его общей площади, либо числа пораженных элементов этого объекта к их общему числу.Поскольку предусмотреть место возникновения и масштаб чрезвычайного события на объекте невозможно, применяют стохастическую основу для определения степени поражения объекта. Для площадного объекта (отношение фасадной ширины объекта к его глубине не превышает 2 : 1) она является математическим ожиданием случайной величины, которая может принимать различные значения при соответствующих вероятностях: средняя величина $D = D_i P_i$.

Так, для нахождения степени поражения (разрушения) объекта от взрывов при авариях нужно рассматривать зоны всех степеней разрушения, пользуясь упрощенной формулой

$$D = \frac{S_{\text{пор}}}{S_{\text{общ}}} = \frac{N_{\text{пор}}}{N_{\text{общ}}},$$

где D — степень поражения промышленного объекта; $S_{\text{пор}} = S_{\text{круг}}$ — площадь объекта, подвергнувшаяся разрушению, км^2; $S_{\text{общ}}$ — общая площадь объекта, км^2; $N_{\text{пор}}$ — число пораженных элементов объекта

(зданий, цехов, сооружений, систем); $N_{общ}$ — общее число элементов объекта.

Значения D в зависимости от степени поражения объекта представлены в табл. 16.1.

Таблица 16.1. **Степень поражения объекта в зависимости от объема разрушений**

Степень поражения D	Степень разрушения	Объем разрушений, %
< 0,2	Слабая	Отдельные элементы
< 0,2...0,5	Средняя	До 30
< 0,5...0,8	Сильная	30...50
> 0,8	Полная	50...100

Для определения числа жертв можно использовать следующее выражение:

$$П_п = S_{пор} L_с / S_{общ},$$

где $П_п$ — число жертв при внезапном взрыве; $L_с$ — численность работающих данной смены (всего предприятия).

Ущерб и число жертв при ЧС подсчитывают, как правило, при проведении комплекса спасательных работ или после них.

Эколого-экономический ущерб. Различают следующие виды ущербов:

- *прямой ущерб*, проявляющийся непосредственно на объектах, расположенных в зоне негативного воздействия промышленного производства и сооружения;
- *косвенный ущерб,* проявляющийся в смежных производствах, на объектах непроизводственной сферы и в природной среде.

Методика расчета эколого-экономического ущерба можно разделить на: локальные (реципиентные) и укрупненные. Реципиентные методики предусматривают расчет ущерба как сумму отдельных составляющих ущерба для различных объектов воздействия (реципиентов): населения, земельных, лесных, биологических ресурсов, основных фондов промышленности, жилищно-коммунального хозяйства и т. д. Оценка ущербов по природным средам осуществляется на базе соответствующих отраслевых методик. Комплексный экономический ущерб ($У_0$) оценивается как сумма локальных ущербов от различных видов (i, ..., n) нарушающих воздействий на (j, ..., m) виды реципиентов:

$$У_0 = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} У_{oij}.$$

Такие методики сложны и дают хорошую точность при наличии надежных исходных фактических данных. Например, трудно рассчитать ущерб здоровью населения из-за загрязнения окружающей среды, так как не просто выявить «экологически обусловленные» заболевания на фоне других.

Экономический ущерб от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу состоит из суммы локальных (реципиентных) ущербов и определяется по формуле

$$У_0 = \sum У_i = У_з + У_{жк} + У_{сх} + У_{лх} + У_п,$$

где $У_з$ — экономический ущерб от повышенной заболеваемости населения; $У_{жк}$ — экономический ущерб, наносимый жилищно-коммунальному хозяйству; $У_{сх}$ — экономический ущерб, наносимый сельскому хозяйству; $У_{лх}$ — экономический ущерб, наносимый лесному хозяйству; $У_п$ — экономический ущерб, наносимый промышленности.

Величина каждого локального (реципиентного) ущерба определяется перемножением удельного ущерба, выбранного в зависимости от среднегодовой концентрации вредной примеси, количества единиц факторов восприятия (реципиентов), находящихся в данной загрязненной зоне, и районного коэффициента:

$$У_i = K_{pi} \sum_{j=1}^{m} \sum_{q=1}^{t} У_{ijq} R_{ijq} ,$$

где $У_i$ — локальный экономический ущерб, причиняемый i-у реципиенту в результате загрязнения атмосферы, руб.; K_{pi} — районный коэффициент для оценки i-го локального ущерба, зависящий от природно-климатических и социально-экономических характеристик региона; $У_{ijq}$ — удельный экономический ущерб i-у реципиенту в j-й зоне загрязнения q-м ингредиентом, руб/ед. реципиента; R_{ijq} — количество единиц i-го реципиента в j-й зоне загрязнения q-м ингредиентом, ед.; m — количество зон загрязнения; t — количество ингредиентов.

В методике оценивается ущерб, наносимый водным ресурсам, атмосфере, почве и биоресурсам.

Укрупненные методики проще, но позволяют лишь примерно оценить экономический ущерб. Например, годовой экономический ущерб, связанный с выбросами и сбросами предприятий в окружающую среду, оценивают по формуле:

$$У_0 = \gamma \sigma f M_{усл}, \text{ руб/год},$$

где γ — константа (руб/усл. т), устанавливаемая отдельно для выбросов и сбросов в зависимости от масштаба, причем ее значение для сбросов примерно в 160 раз выше, чем для выбросов; σ — безразмерный показатель относительной опасности загрязнения (для выбросов изменяется от 0,4 до 8, в зависимости от вида загрязняемой территории; для сбросов — от 0,11 до 2,73, в зависимости от загрязняемого водохозяйственного участка); f — безразмерный коэффициент, учитывающий характер рассеивания загрязняющих выбросов (изменяется от 0,1 до 3,7, в зависимости от высоты и температуры выброса), для сбросов принимается за 1; $M_{усл}$ — приведенная масса выбросов и сбросов в год, усл. т/год; $M_{усл.} = \sum_{i}^{n} A_i m_i$, где n — количество загрязняющих веществ в выбросе или сбросе; A_i — относительная опасность каждого вещества; m_i — масса каждого вещества в сбросе или выбросе, т; $A_i = 1/ПДК_i$, где $ПДК_i$ — предельно допустимая концентрация каждого вещества (для выбросов — $ПДК_{сс}$, для сбросов — $ПДК_{рх}$).

Основными механизмами экономического управления природоохранной деятельности являются принцип платности загрязнений и использования природных ресурсов.

Принцип — «загрязнитель платит» предусматривает экономическую ответственность предприятия за загрязнение окружающей среды, компенсацию со стороны предприятия экономического ущерба, наносимого окружающей среде и населению его загрязнениями. Важным механизмом реализации этого принципа являются платежи за загрязнение. Платежи за загрязнение нельзя рассматривать как полную компенсацию наносимого ущерба. Их внесение не освобождает предприятие от возмещения причиненного ущерба, предприятие не получает амнистию по возможным искам организаций и граждан за причиненный ущерб. Финансовое бремя платежей за загрязнение стимулирует предприятие к уменьшению облагаемой платежами величины. В настоящее время плата взимается за следующие виды загрязнений:

- выброс в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников;
- сброс загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты;
- размещение отходов.

За выбросы, сбросы загрязняющих веществ от стационарных источников установлены два вида базовых нормативов (ставок) платы:

- в пределах допустимых нормативов (ПДВ, ПДС, т/год);

• в пределах установленных предприятию лимитов (ВСВ, ВСС — соответственно временно согласованных выбросов и сбросов, т/год).

За сверхлимитный выброс, сброс, превышающий ВСВ и ВСС, ставка платы повышается в 5 раз по отношению к ставке платы в пределах установленных лимитов.

Базовые ставки платы устанавливаются органами государственного управления по каждому веществу с учетом их опасности для окружающей среды, периодически пересматриваются и доводятся до сведения территориальных органов, ведающих вопросами охраны окружающей среды. Ставки платежей, взимаемых с предприятий, определяются умножением базовых ставок на региональные коэффициенты $K_э$, учитывающие экологическую ситуацию, природно-климатические особенности территорий, значимость природных и социально-культурных объектов региона. Разброс коэффициентов при загрязнении атмосферы от 1,0 (Дальневосточный регион) до 2,0 (Центральный, Уральский регионы). Разброс $K_э$ при загрязнении водных объектов определяется бассейном загрязняемых рек и изменяется от 1,0 до 1,85.

Таким образом, начисление платежей можно рассчитать по следующим формулам:

— для загрязнения в пределах норматива — ПДВ, ПДС ($M_i \leq M_{нi}$)

$$П_н = K_э \sum_{i=1}^{I} C_{нi} M_i, \text{ руб.};$$

— для загрязнения в пределах лимита — ВСВ, ВСС ($M_{нj} < M_j \leq M_{лj}$)

$$П_л = K_э \sum_{j=1}^{J} C_{лj} (M_j - M_{нj}), \text{ руб.};$$

— для загрязнения сверх лимита — сверх ВСВ и ВСС ($M_k > M_{лk}$)

$$П_{сл} = 5 \sum_{k=1}^{K} C_{лk} (M_k - M_{лk}), \text{ руб.},$$

где $K_э$ — региональный коэффициент; i, j, k — соответственно номер вещества, загрязняющего окружающую среду в пределах норматива, лимита и сверх лимита; I, J, K — соответственно число веществ, загрязняющих окружающую среду в пределах норматива, лимита и сверх лимита; $C_{нi}$, $C_{лj}$, $C_{лk}$ — базовые нормативы платы в пределах норматива и лимита по каждому i, j, k загрязняющему веществу (руб/т), M_i, M_j, M_k — фактическая масса загрязнения (выброса, сброса) i, j, k веществ, т; $M_{нi}$, $M_{нj}$ — выброс (сброс) i и j загрязняющих ве-

ществ в пределах установленного норматива — ПДВ, ПДС, т; $M_{лj}$, $M_{лk}$ — выброс (сброс) j и k веществ в пределах установленного лимита — ВСВ, ВСС, т.

Общая плата за загрязнение окружающей среды выбросами (сбросами) стационарными источниками определяется по формуле:

$$П = П_н + П_л + П_{сл}.$$

Плата за загрязнение атмосферного воздуха выбросами передвижных источников подразделяется на:

- плату за допустимые выбросы;
- плату за выбросы, превышающие допустимые.

Удельная плата, за допустимые выбросы загрязняющих веществ от передвижных источников, образующих при использовании одной тонны e-го вида топлива, определяется по формуле:

$$У_e = \sum_{i=1}^{n} H_{бнi} M_i, \text{ руб./т (м}^3\text{) топлива,}$$

где i — вид загрязняющего вещества, n — число загрязняющих веществ в выбросе; $H_{бнi}$ — базовый норматив платы за выброс одной тонны i-го загрязняющего вещества в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы выбросов (руб/т загрязняющего вещества); M_i — масса i-го загрязняющего вещества, содержащегося в отработавших газах технически исправного транспортного средства, отвечающего действующим стандартам и техническим условиям завода-изготовителя, при использовании одной тонны, м^3, e-го вида топлива (тонн загрязняющего вещества/т, м^3, топлива).

В качестве основных нормируемых загрязняющих веществ для передвижных источников рассматриваются: оксиды углерода и азота, углеводороды, сажа, соединения свинца, диоксид серы. Различают следующие виды топлив: бензин этилированный, бензин неэтилированный, дизельное топливо, сжатый природный газ, сжиженный газ.

Плата за допустимые выбросы определяется по формуле

$$П_н = \sum_{e=1}^{R} У_e T_e, \text{ руб.,}$$

где R — число видов топлива, используемого на предприятии, T_e — количество e-го вида топлива, израсходованного на предприятии за отчетный период (т, м^3).

Плата за превышение допустимых загрязняющих веществ определяется по формуле

$$П_{сн} = 5 \sum_{j=1}^{P} П_{нj} d_j, \text{ руб.},$$

где j — тип транспортного средства; P — число типов транспортных средств на предприятии; $П_{нj}$ — плата за допустимые выбросы загрязняющих веществ от j-го типа транспортного средства, руб.; d_j — доля транспортных средств j-го типа, не соответствующих требованиям стандартов, определяется как соотношение количества транспортных средств, не соответствующих требованиям стандартов, к общему количеству транспортных средств.

Общая плата за выбросы загрязняющих веществ от передвижных источников определяется по формуле

$$П = K_{э,атм}(П_н + П_{сн}),$$

где $K_{э,атм}$ — коэффициент экологической ситуации и экологической значимости атмосферы в регионе.

Плата за размещение отходов подразделяется на:

- плату за размещение отходов в пределах установленных природопользователю лимитов (ПДР — предельно допустимого размещения);
- плату за сверхлимитное размещение отходов.

Плата за размещение отходов в пределах лимитов определяется по формуле ($M_i \le M_{лi}$):

$$П_л = \sum_{i=1}^{n} C_{лi} M_i, \text{ руб.},$$

где $C_{лi}$ — ставка платы за размещение 1 т или 1 м^3 i-го вида отхода в пределах установленных лимитов, руб./т, руб./м^3; M_i — фактическое размещение i-го вида отхода, т, м^3; $M_{лi}$ — установленный годовой лимит на размещение i-го вида отхода (т, м^3), i-вид отхода; n — количество видов отходов, размещаемых в пределах лимитов.

Ставка платы за размещение отходов определяется по формуле:

$$C_{лi} = H_{блi} K_{э,отх},$$

где $H_{блi}$ — базовый норматив платы за размещение одной тонны или 1 м^3 i-го вида отхода в пределах установленных лимитов, руб/т, руб/м^3; $K_{э,отх}$ — коэффициент экологической ситуации и экологической значимости почв в данном регионе.

Плата за сверхлимитное размещение отходов определяется по формуле ($M_i > M_{лi}$):

$$П_{сл} = 5 \sum_{i=1}^{p} C_{лi}(M_i - M_{лi}), \text{ руб.},$$

где p — количество видов отходов, размещаемых сверхустановленных лимитов.

При размещении предприятием отдельных видов отходов в пределах и сверхустановленных лимитов суммарная плата за размещение отходов определяется по формуле:

$$П = П_л + П_{сл}.$$

Отходы при их размещении подразделяются на следующие виды: промышленные, бытовые и сельскохозяйственные, токсичные и нетоксичные. Базовые нормативы платы $Н_{блi}$ зависят не только от вида отхода, но и от места его размещения.

Важным экономическим механизмом, стимулирующим ресурсосбережение и малоотходные технологии, является плата за использование природных ресурсов. В настоящее время плата взимается за использование воды, земли, леса, минеральных ресурсов.

Экономический эффект мероприятий по безопасности жизнедеятельности. *Экономический эффект мероприятий по обеспечению безопасности и улучшению условий труда.* Экономический эффект (экономическая выгода $В$, руб.) в денежном выражении мероприятий по улучшению условий и охране труда определяется суммой предотвращенного ущерба (экономических последствий) $\Delta У_{бт}$ от производственного травматизма и профессиональных заболеваний, руб.; увеличением прибыли $\Delta П$ предприятия за счет прироста производительности труда, руб.; сокращением расходов $\Delta Л$ на льготы и компенсации за работу в неблагоприятных условиях, руб.:

$$В_{бт} = \Delta У_{бт} + \Delta П + \Delta Л. \qquad (16.2)$$

Предотвращенный ущерб ($\Delta У_{бт_1}$) определяется разностью ущербов до ($У_{т_1}$) и после ($У_{т_2}$) мероприятий, подсчитываемых по формуле (16.1): $\Delta У_{бт} = У_{бт_1} - У_{бт_2}$.

Увеличение прибыли $\Delta П$, руб., предприятия объясняется снижением себестоимости выпускаемой продукции из-за роста производительности труда, обусловленного повышением работоспособности работников в более благоприятных условиях труда. Улучшение условий труда может быть достигнуто, например, за счет улучшения микроклиматических условий в рабочей зоне, повышения освещенности и улучшения характеристик световой среды, снижения напряженности труда, утомляемости за счет организации рабочего места в соот-

ветствии с эргономическими рекомендациями и т. п. Увеличение прибыли предприятия определяется суммированием увеличения прибыли (снижения себестоимости продукции) по каждому участку, рабочему месту, на которых проводились мероприятия по улучшению условий труда:

$$\Delta П = \sum_j (П_{2j} - П_{1j}) \approx \sum_j (C_{1j} E_{1j} - C_{2j} E_{2j}),$$

где $П_{1j}$, $П_{2j}$ — соответственно прибыль, полученная за счет работы на участке (рабочем месте) j до и после проведения мероприятия, руб.; C_{1j}, C_{2j} — соответственно себестоимость единицы продукции на участке j до и после проведения мероприятия, руб./ед., руб./т, руб., руб./м^3 (размерность в зависимости от вида продукции); E_{1j}, E_{2j} — соответственно количество единиц продукции, получаемой на участке j, до и после проведения мероприятия, ед., т, м^3 (размерность в зависимости от вида продукции).

Продукцией могут быть выпускаемые изделия, заготовки, число набранных на компьютере страниц текста, количество разработанных программ, выполненных технологических операций и т. п.

Сокращение расходов $\Delta Л$ на льготы и компенсации обусловлено тем, что за счет мероприятий по улучшению условий труда снижается тяжесть или напряженность труда (был тяжелый — стал средней тяжести, был напряженный — стал напряженный средней степени), снижается класс вредности (были вредные условия — стали допустимые), а это позволяет снять льготы и компенсации или уменьшить их размер.

Снижение расходов на льготы и компенсации также определяется суммированием по отдельным участкам или видам работ, на которых за счет мероприятий по улучшению условий труда удалось достичь сокращение расходов.

$$\Delta Л = \sum_j (Л_{1j} - Л_{2j}),$$

где $Л_{1j}$, $Л_{2j}$ — соответственно расходы на льготы и компенсации работающим на участке j до и после мероприятий.

Экономический эффект природоохранных мероприятий и мероприятий по улучшению использования природных ресурсов. Экономический эффект (экономическая выгода B_0, руб.) в денежном выражении природоохранных мероприятий и мероприятий по улучшению использования природных ресурсов определяется суммой предотвращенного ущерба (экономических последствий) $\Delta У_0$ от загрязнения окружающей природной среды и нерационального использования природных ресурсов, а также доходом $Д$, получаемым при реализации продук-

ции, полученной из уловленных системами очистки загрязнений, которые могут использоваться в качестве вторичных материальных ресурсов. Например, уловленная пыль и другие твердые загрязнения могут использоваться для изготовления строительных материалов, сернистый ангидрид — для производства товарной серной кислоты и серы и т. д.

$$В_0 = \Delta У_0 + Д.$$

Экономический эффект мероприятий по прогнозированию и предотвращению чрезвычайных ситуаций. Экономический эффект (экономическая выгода $В_{че}$, руб.) в денежном выражении — эффект мероприятий по прогнозированию и предотвращению чрезвычайных ситуаций, определяется суммой предотвращенного ущерба от техногенных аварий и катастроф, стихийных бедствий $\Delta У_{че}$, а также суммой сохраненных средств ($\Delta С$), затраченных на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций (спасательные мероприятия, восстановление систем жизнеобеспечения и т. д.), если ее не удалось предотвратить, а лишь снизить ее последствия.

$$В_{че} = \Delta У_{че} + \Delta С.$$

Некоторые экономические эффекты подсчитываются сравнительно просто. Например, экономический эффект от аварии, имеющей локальный характер и не вызвавшей серьезных экологических последствий, можно оценить как сумму затрат на локализацию аварии, ликвидацию ее последствий, восстановление разрушенного или поврежденного объекта, компенсации семьям погибших (если есть летальные исходы), лечение и восстановление работоспособности пострадавшим. При оценке ущербов, наносимых чрезвычайными ситуациями, используются методики оценки ущерба, наносимого природной среде, и ущербов от травм, заболеваний и т. д., изложенные выше.

Экономическая эффективность мероприятий в области обеспечения безопасности жизнедеятельности. Экономическая эффективность мероприятий в области безопасности жизнедеятельности определяется разницей полученного экономического эффекта (выгоды $В$, руб.) и понесенных для его получения затрат $З$, руб.

Для оценки экономической эффективности используют показатели чистого и общего (абсолютного) экономического эффекта. Показатель чистого экономического эффекта (годового экономического эффекта $Э_г$) определяется по формуле

$$Э_г = В - З, \text{ руб.}$$

Чем больше годовой экономический эффект $Э_г$, тем выше экономическая эффективность мероприятия.

Затраты $З$ на реализацию мероприятия рассчитываются по формуле

$$З = E_н K - C,$$

где K — капитальные вложения в мероприятие, руб. (затраты на приобретение средств защиты, модернизацию оборудования, создание или улучшение систем вентиляции, очистки и кондиционирования воздуха и т. п.); $E_н$ — безразмерный нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (в целом по промышленности $E = 0,12$, для некоторых видов экобиозащитных мероприятий может равняться 0,08 и даже 0,03— для лесовосстановительных работ); C — затраты на обслуживание и эксплуатацию систем обеспечения условий и охраны труда в год, руб.

Общая (абсолютная) экономическая эффективность $Э_о$ мероприятия определяется выражением $Э_о = B/З$. Мероприятие считается экономически эффективным, если $Э_о \geq 1$. Чем выше $Э_о$, тем эффективнее мероприятие.

Эффективность капитальных вложений $Э_к$ в мероприятия по охране труда оценивают по формуле:

$$Э_к = (B - C)/K.$$

Если $Э_к \geq E_н$, то капитальные вложения следует считать эффективными.

Срок окупаемости капитальных вложений $T = 1/Э_к$, лет. Если $T \leq 1/E_н$, мероприятие считается окупаемым.

Экономический эффект мероприятия может быть получен только после его реализации и даже не в первый год. Затраты предприятие несет вначале, а эффект получает позднее. При наличии в стране инфляции сопоставлять вложенные в проект финансовые средства и полученный позднее эффект нельзя, так как современные деньги могут оказаться не сопоставимы по покупательной способности с «будущими». Поэтому для оценки эффективности многолетних проектов мероприятий по обеспечению безопасности жизнедеятельности необходимо учитывать фактор дисконтирования, позволяющий привести «будущие» деньги к современному моменту. Для учета фактора времени при оценке эффективности мероприятий применяют такой показатель, как чистый дисконтированный доход (ЧДД):

$$ЧДД = \sum_{t=0}^{T} \frac{B_t - З_t}{(1+r)^t},$$

где r — коэффициент дисконтирования, учитывающий уровень инфляции: чем он больше, тем выше инфляция, при $r = 0$ инфляции нет; t — текущий год реализации мероприятия; T — год окончания реализации программы мероприятий. Чем больше ЧДД, тем эффективнее мероприятие.

Следует обратить особое внимание на то, что отрицательное значение рассчитанного ЧДД не всегда может являться однозначным показателем нецелесообразности мероприятия, так как при расчетах не всегда учитывается (из-за сложности расчета или отсутствия расчетных методик) косвенный предотвращенный ущерб.

Экономический эффект от вложения финансовых средств в системе безопасности достаточно часто выступает лишь в виде возможных экономических потерь от вероятной аварии или несчастного случая. Это является серьезным психологическим аспектом, побуждающим предприятия вкладывать свободные средства в мероприятия, дающие реальный доход, а не на повышение безопасности производства. Однако «экономия» на безопасности ложна и чревата для предприятия серьезными убытками.

Например, долговременные экономические, экологические и социальные потери, полученные в результате Чернобыльской катастрофы, несоизмеримо превысили те средства, которые можно было бы вложить в разработку и создание высоконадежных средств обеспечения безопасности ядерного реактора.

Экономический эффект мероприятий по охране труда не может и не должен являться единственным критерием целесообразности проведения мероприятий. Даже если экономические расчеты показывают неэффективность мероприятия, оно может быть реализовано, так как обладает большой социальной эффективностью. Предпочтение социального эффекта экономическому вовсе не означает второстепенность последнего, особенно в условиях рыночной экономики.

Экономический эффект является не целью мероприятий, а лишь одним из аспектов их оценки. Имея представление об экономической эффективности мероприятий, органы управления и работодатель более планомерно могут осуществлять затраты на их проведение и управлять социально-экономическими последствиями загрязнения окружающей среды, травматизма и профессиональных заболеваний на производстве, аварий и стихийных бедствий.

Контрольные вопросы к главе 16

1. С чем связаны экономические ущербы, возникающие из-за несоблюдения требований безопасности жизнедеятельности?

2. Каковы составляющие экономического ущерба, возникающего из-за производственного травматизма, профессиональных заболеваний и ухудшения условий труда?

3. Что понимается под эколого-экономическим ущербом?

4. Что такое прямой и косвенный эколого-экономические ущербы?

5. В чем состоит сущность расчета эколого-экономического ущерба по реципиентной методике?

6. В чем состоит сущность укрупненной оценки эколого-экономического ущерба, наносимого природной среде?

7. Каков механизм реализации принципа «загрязнитель платит»?

8. За какие виды загрязнения окружающей среды в настоящее время взимается плата?

9. Как рассчитываются платежи за загрязнение атмосферы, подземных и поверхностных водных объектов от стационарных источников загрязнения?

10. Как рассчитываются платежи за загрязнение атмосферы от передвижных источников?

11. Как рассчитываются платежи за размещение отходов?

12. В чем состоит экономический эффект природоохранных мероприятий, мероприятий по обеспечению безопасности труда, улучшению их условий и мероприятий по прогнозированию и предотвращению чрезвычайных ситуаций?

13. Как определяется экономическая эффективность мероприятий по обеспечению безопасности жизнедеятельности? Каковы критерии экономической эффективности?

14. Что такое ЧДД, что он учитывает и для оценки экономической эффективности каких мероприятий он применяется?

Глава 17

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Большинство отраслей экономики имеют выраженную специфику условий труда. Так, практически во всех производствах металлургии наблюдается выраженный нагревающий микроклимат в теплый период года, хотя имеются и производства с охлаждающим микроклиматом в холодный период (литейный двор доменного производства). Повсеместно наблюдаются повышенные температуры поверхностей оборудования и материалов (проката, агломерата, жидкого металла и т. п.). Химические производства характеризуются, прежде всего, загазованностью воздуха рабочей зоны, а во многих случаях и пожаровзрывоопасностью (нефтеперерабатывающее и нефтехимическое производство). В энергетике основным поражающим фактором является повышенное напряжение в электрических цепях, а в аварийных ситуациях при возникновении электрической дуги возможно появление зон чрезмерной яркости. Для атомной энергетики характерны ионизирующие излучения. На транспорте и в строительстве наибольшую опасность представляют движущиеся машины и перемещаемые грузы. Особенно это характерно для работников

Таблица 17.1. **Негативные факторы некоторых отраслей экономики [4]**

Отрасли, виды работ цеха	Загазованность, запыленность	Повышенный уровень электрического напряжения	Повышенный уровень вибрации и шума	Движущиеся машины, изделия, подвижные части оборудования	Неблагоприятный микроклимат: нагревающий	Неблагоприятный микроклимат: охлаждающий	Повышенная (пониженная) температура поверхностей оборудования и материалов	Производственные излучения: тепловые	Производственные излучения: электромагнитные	Производственные излучения: ионизирующие	Производственные излучения: световые (яркость в поле зрения)	Прочие факторы	Взрывоопасность	Пожароопасность
Металлургия:														
доменное производство	+	+	—	—	+	+	+	+	—	+	+		+	+
сталеплавильное производство	+	+	—	+	+	—	+	+	—	+	+		—	+
прокатное производство	+	+	+	+	+	—	+	+	—	—	—	Острые кромки и грани ручного инструмента для зачистки проката	—	+
производство агломерата	+	+	—	+	—	—	—	+	—	—	—	Повышенная влажность	+	+
химическое производство	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	Агрессивные жидкости	+	+
энергетика	—		+	—	—	—	—	—	+	+	+	Работа на высоте	+	+
Машиностроение:			+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
литейные цеха	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Недостаточная освещенность	+	+
кузнечно-прессовые цеха	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
термические цеха	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+

металлообрабатывающие цеха	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Микроорганизмы в СОЖ. Острые кромки и грани режущего инструмента	+	+
сварочные цеха	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Неудобство позы. Ультрафиолетовое (УФ) и лазерное излучение	+	+
гальванические цеха	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Агрессивные жидкости	+	+
Строительство:	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
земляные работы	+	—	—	—	+	+	—	—	—	—	—	Солнечная радиация, физические перегрузки, неудобство позы	—	—
бурильные работы	+	—	+	+	+	+	—	—	—	—	—	Солнечная радиация, физические перегрузки, неудобство позы	—	—
каменные работы	+	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—	Солнечная радиация, физические перегрузки, монотонность труда	—	—
монтажные работы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	+	Неудобство позы, УФ-излучение, работа на высоте	—	+
антикоррозионные и изоляционные работы	+	—	—			—	—	—	—	—	—	Физические перегрузки, неудобство позы	—	
кровельные работы	+	—	—	+	+	—	+	+	—	—	—	Неудобство позы, работа на высоте	—	—

Продолжение табл. 17.1

Отрасли, виды работ цеха	Загазованность, запыленность	Повышенный уровень электрического напряжения	Повышенный уровень вибрации и шума	Движущиеся машины, изделия, подвижные части оборудования	Неблагоприятный микроклимат		Повышенная (пониженная) температура поверхностей оборудования и материалов	Производственные излучения				Прочие факторы	Взрывоопасность	Пожароопасность
					нагревающий	охлаждающий		тепловые	электромагнитные	ионизирующие	световые (яркость в поле зрения)			
Транспорт:	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
автомобильный	+	+	+	+	+	+	+	+	—	+	+	Солнечная радиация, неудобство позы, физические перегрузки, повышенная концентрация внимания	+	+
электрифицированный	—	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	Солнечная радиация, неудобство позы, физические перегрузки, повышенная концентрация внимания	—	+

Примечание. ++ указывают на то, что соответствующий фактор имеет весьма высокий уровень.

Т а б л и ц а 17.2. **Виды травм и заболеваний в некоторых отраслях экономики [4]**

Отрасли, виды работ, цеха	Виды травм						Виды профессиональных заболеваний
	механические	тепловые ожоги	химические ожоги	электротравмы и удары	острые отравления	тепловые и солнечные удары, обморожения	
Металлургия	+	+	—	+	—	+	Радикулиты, кожные и желудочно-кишечные заболевания, нарушение терморегуляции
Химическое производство	++	++	++	++	++	—	Хронические отравления, заболевания кожи, раковые заболевания
Энергетика	+	+	—	+	—	—	Электрофтальмия, лучевая болезнь на АЭС
Машиностроение:							
литейные цеха	+	+	—	+	—	+	Виброболезнь и тугоухость на участках зачистки и обрубки литья
кузнечно-прессовые цеха	+	+	—	+	—	—	Нарушение терморегуляции, тугоухость
термические цеха	+	+	—	+	—	+	Нарушение терморегуляции
металлообрабатывающие цеха	+	+	—	+	—	—	Болезни верхних дыхательных путей, кожные заболевания
сварочные цеха	+	+	—	+	—	—	Электрофтальмия, пневмокониоз, профессиональные бронхиты, марганцевая интоксикация
гальванические цеха	+	—	+	+	+	—	Заболевания кожи

Продолжение табл. 17.2

Отрасли, виды работ, цеха	Виды травм						Виды профессиональных заболеваний
	механические	тепловые ожоги	химические ожоги	электротравмы и удары	острые отравления	тепловые и солнечные удары, обморожения	
Строительство:							
земляные работы	+	—	—	—	—	+	Заболевания опорно-двигательного аппарата
бурильные работы	+	—	—		—	+	Виброболезнь
каменные работы	+	—	—	—	—	+	Заболевания опорно-двигательного аппарата, хронические отравления
монтажные работы	++	—	—	+	+	+	Заболевания опорно-двигательного аппарата, механическое травмирование
антикоррозионные и изоляционные работы	+	—	—	—	+	+	Виброболезнь, хронические отравления, кожные заболевания
кровельные работы	++	+	—	—	—	+	Заболевания опорно-двигательного аппарата, хронические отравления
Транспорт:							
эксплуатация автомобилей	+	+	—	—	+	+	Заболевания опорно-двигательного аппарата
экслуатация электровозов, троллейбусов, трамваев	+	+	—	—	+	+	Электротравмы
ремонтные работы	+	+	—	+	—	—	Профессиональные бронхиты, электрофтальмия, марганцевая интоксикация

транспорта, которые проводят ремонтные работы в условиях ограниченного пространства рядом с подвижным составом. Как в строительстве, так и на транспорте работы на открытом пространстве часто ведутся в условиях неблагоприятного микроклимата. Характерными опасными факторами для строителей является работа на высоте, физические перегрузки, монотонность труда (каменщики). Работники электрифицированного транспорта (водители троллейбусов и трамваев, машинисты электровозов) связаны с опасностью поражения электрическим током. Условия труда в машиностроении крайне разнообразны и определяются спецификой применяемого технологического оборудования.

Общая характеристика условий труда в основных отраслях экономики представлена в табл. 17.1, а виды травм и профессиональных заболеваний в табл. 17.2.

К особо опасным работам на промышленных предприятиях относят:

— монтаж и демонтаж тяжелого оборудования массой более 500 кг;

— транспортирование баллонов со сжатыми газами, кислот, щелочных металлов и других опасных веществ;

— ремонтно-строительные и монтажные работы на высоте более 1,5 м с применением приспособлений (лестниц, стремянок и т. п.), а также работы на крыше;

— земляные работы в зоне расположения энергетических сетей;

— работы в колодцах, тоннелях, траншеях, дымоходах, плавильных и нагревательных печах, бункерах, шахтах и камерах;

— монтаж, демонтаж и ремонт грузоподъемных кранов и подкрановых путей; такелажные работы по перемещению тяжеловесных и крупногабаритных предметов при отсутствии подъемных кранов;

— гидравлические и пневматические испытания сосудов и изделий;

— чистка и ремонт коллов, газоходов, циклонов и другого оборудования котельных установок, а также ряд других работ.

По данным 1999 г., риск работающего получить травму с летальным исходом в отраслях экономики составлял:

Отрасль экономики	$R_{си}$
Добыча драгоценных металлов	$6{,}2 \cdot 10^{-4}$
Добыча угля подземным способом . .	$5 \cdot 10^{-4}$
Строительство	$2{,}9 \cdot 10^{-4}$
Сельское хозяйство	$2 \cdot 10^{-4}$

Отрасль экономики	$R_{си}$
Транспорт	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$
Авиационный транспорт	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$
Газовая промышленность	$1 \cdot 10^{-4}$
Машиностроение	$0{,}77 \cdot 10^{-4}$

Ниже перечислены наиболее опасные отрасли промышленности и связанные с ними основные канцерогены.

Отрасль или ее продукция	Канцерогенные вещества
Производство инструментов и научных приборов	Припои, асбест, таллий
Готовые металлоизделия	Свинец, никель, растворители, хромовая кислота, асбест
Электрооборудование и источники питания	Свинец, ртуть, растворители, хлоруглеводороды, припои
Машиностроение	Масла: смазочное, закалочное; смазочно-охлаждающая эмульсия
Транспортное оборудование	Формалин, фенол, изоцианиты, амины
Нефть и нефтепродукты	Бенозол, нафталин, пролициклические ароматические соединения
Кожаные изделия	Соли хрома, дубильные органические вещества
Трубопроводный транспорт	Нефть и нефтепродукты, сварочные металлы

На первый взгляд, неожиданный представляется тот факт, что производство инструментов и точных приборов оказывается одним из самых опасных. Объяснение этого факта заключается преимущественно в ручном характере сборки продукции с высокой степенью контакта персонала с канцерогенами. Наряду с этим в химической промышленности, связанной со значительно большими количествами канцерогенов, благодаря высокому уровню автоматизации производства, контакт персонала с канцерогенами существенно меньше.

Контрольные вопросы к главе 17

1. Каким отраслям экономики присущ повышенный травматизм?
2. Какие виды работ в промышленности относят к особо опасным?
3. Назовите опасные отрасли экономики, исходя из неблагоприятного воздействия канцерогенных веществ.

Глава 18

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СПЕЦИАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

В техносферных зонах, образованных градообразующими предприятиями, полигонами для испытания техники, объектами военной деятельности, средствами транспорта, линиями связи и электропередачи и т. п., широко применяются общеизвестные и особые меры защиты работающих от опасностей. Выбор защитных мер во многом определяется спецификой негативного влияния опасностей в подобных зонах. Каждой из них присущи свои специфические особенности.

Зоны эксплуатации транспортных средств. Воздействие транспорта многообразно и проявляется, прежде всего, в загрязнении атмосферного воздуха (табл. 18.1), почв, поверхностных вод (табл. 18.2) воздействий шума и вибраций на здоровье людей, отчуждении значительных площадей под строительство объектов транспортной инфраструктуры.

В масштабах России вклад транспортного комплекса в сброс вредных веществ со сточными водами в поверхностные водные объекты и в образование промышленных отходов невелик и составляет всего лишь 2...3 %, но при этом нужно учитывать, что и размеры зон, где применяются средства транспорта (кроме автотранспорта), невелики. Поэтому создаваемые в зонах эксплуатации транспортных средств (аэродромы, порты, станции и т. п.) уровни загрязнений могут достигать высоких значений.

Таблица 18.1. **Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу транспортными средствами в 2000 г., тыс. т**

Вид транспорта	CO	C_nH_m	NO_x	C	SO_2	Pb	Всего
Автомобильный	10 362	1461	1523	18,2	114	2,93	13481,1
Речной	14,9	11,1	42,3	4,5	14,9	—	87,7
Морской	11,6	8,0	29,4	2,6	30,5	—	82,1
Воздушный	33,5	6,0	58	—	12,5	—	110
Железнодорожный	36,7	22,7	149	9,0	—	—	217,4
Промышленный железнодорожный	7,8	4,5	33	1,6	—	—	46,9
Дорожные машины	128	25	65	5,5	9,1	0,03	232,6
Итого	10594,5	1538,3	1899,7	41,1	181	2,96	14257,8

Таблица 18.2. **Сточные воды и отходы транспортного комплекса в 2000 г.**

Вид транспорта	Объем сброса загрязненных сточных вод, млн $м^3$	Масса загрязняющих веществ в сточных водах, тыс. т		Отходы, тыс. ч
		взвешенные вещества	нефтепродукты	
Автомобильный	7,2	64	2,5	1760
Речной	0,39	0,43	0,02	29,5
Морской	2,4	0,12	0,01	8,1
Воздушный	1,9	0,6	0,14	132,2
Железнодорожный	48,5	2,4	0,07	524
Итого	60,4	67,6	2,74	2453,8

Автомобильный транспорт. Рост российского автомобильного парка происходит в условиях существенного отставания экологических показателей отечественных автотранспортных средств и используемых моторных топлив от мирового уровня, а также отставания в развитии и техническом состоянии улично-дорожной сети. Средний возраст автомобильного парка остается значительным и составляет в целом по стране около 10,5 лет, а в отдельных регионах России — от 9,4 до 13,6 лет.

С 1 июля 2000 г. Госстандартом России введены в действие в качестве государственных стандартов Российской Федерации нормы Евро-2, касающиея требований к выбросам загрязняющих веществ и дымности отработавших газов автомобилей, в том числе использующих газообразное моторное топливо, а также требований к сменным каталитическим нейтрализаторам. Нормы Евро-2 для автомобилей с дизелями действуют с 1 июля 2000 г., а для легковых автомобилей введение норм Евро-2 — с 1 июля 2002 г. Введение норм обеспечивает уменьшение выбросов загрязняющих веществ от одного автомобиля: в 2,0—2,8 раза для дизельного двигателя грузового автомобиля или автобуса; примерно в 10 раз для двигателя легкового автомобиля при применении нейтрализатора отработавших газов и неэтилированного бензина.

Мероприятия по защите атмосферного воздуха от выбросов ДВС рассмотрены в гл. 10.

Речной и морской водный транспорт России в 2000 г. имел на учете соответственно 32 644 и 1319 судов. Мероприятия по предотвращению загрязнения окружающей среды в результате судоходства направлены прежде всего на предотвращение загрязнения моря и внутренних водоемов нефтью и другими вредными веществами, которые перевозятся в качестве грузов, а также сточными водами, мусором и веществами, загрязняющими атмосферу (см. табл. 18.1 и 18.2).

Железнодорожный транспорт. Основные защитные мероприятия направлены на уменьшение негативного влияния передвижных источников железнодорожного транспорта (тепловозов) на атмосферный воздух, для чего внедряются нейтрализаторы — глушители, а в качестве топлива используются сжатые газы.

Мероприятия по охране гидросферы направлены на сокращение потребления питьевой воды на производственные нужды, повышение эффективности очистных сооружений. Широкое применение для очистки сточных вод получили флотационные установки.

Первостепенное значение придается сохранению и восстановлению защитных лесных насаждений. Ведутся работы по сокращению массы различных отходов, в том числе и высокотоксичных.

В 2000 г. завершена «Экологическая программа железнодорожного транспорта на 1996—2000 годы». В результате выполнения Программы выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух снизились на 24,4 %; сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты сократился на 38,3 %; использовано и обезврежено 22,1 % общего количества образовавшихся отходов.

Авиация. Самолеты и вертолеты создают серьезные проблемы, связанные с воздействием шума на пассажиров, обслуживающий персонал и, особенно, на население, проживающее около аэропортов. Сверхнормативному воздействию шума подвергается около 2,5 млн человек, проживающих около аэропортов, так как парк авиационных судов (Ил-76, Ил-86, Ту-134) не соответствует стандартам Международной организации гражданской авиации.

При оценке неблагоприятного воздействия авиации на атмосферу принято разделять выбросы вредных веществ в приземном слое атмосферы (до высоты 900 м), которые влияют на качество воздуха в районах аэропортов, и выбросы по трассам полета (на высотах более 900 м).

Выхлопные газы газотурбинных двигательных установок (ГТДУ) содержат такие токсичные компоненты, как оксид углерода, оксиды азота, углеводороды, сажу, альдегиды и др. Содержание токсичных составляющих в продуктах сгорания существенно зависит от режима работы двигателя. Высокие концентрации оксида углерода и углеводородов характерны для ГТДУ на пониженных режимах (при холостом ходе, рулении, приближении к аэропорту, заходе на посадку), тогда как содержание оксидов азота существенно возрастает при работе на режимах, близких к номинальному (взлете, наборе высоты, полетном режиме).

Суммарный выброс токсичных веществ в атмосферу самолетами с ГТДУ непрерывно растет, что обусловлено повышением расхода топ-

лива до 20...30 т/ч и неуклонным ростом числа эксплуатируемых самолетов. Отмечается влияние ГТДУ на озоновый слой и накопление углекислого газа в атмосфере.

Наибольшее влияние на условия обитания выбросы ГТДУ оказывают в аэропортах и зонах, примыкающих к испытательным станциям. Сравнительные данные о выбросах вредных веществ в аэропортах показывают, что поступления от ГТДУ в приземный слой атмосферы составляют, %; оксид углерода —55, оксиды азота —77, углеводороды —93 и аэрозоль —97. Остальные выбросы выделяют наземные транспортные средства с ДВС. Выбросы вредных веществ в районе аэропортов в 2000 г. оценены в 34,6 тыс. т.

Необходимо отметить, что в аэропортах существенный вклад (до 50 % по СО) в общее загрязнение атмосферного воздуха вносит автомобильный транспорт, обслуживающий авиаперевозки.

Ракетно-космическая техника. Ее воздействие на население и природную среду происходит за счет загрязнения атмосферы и почвы механическими и химическими отходами, разрушения озонового слоя, акустического, теплового и электромагнитного воздействия. Основное негативное воздействие ракет связано с загрязнением атмосферы химическими веществами и земной поверхности механическими фрагментами в зоне пуска ракет-носителей и в районе падения их отделяющихся частей.

В 2000 г. осуществлено 36 пусков ракет-носителей. Доля загрязнений, поступающих в окружающую среду при их пусках, невелика и составляет около 0,01 % по отношению к другим загрязнениям в регионах космодромов (Плесецк, Байконур).

Загрязнения компонентами топлива от отделяющихся частей ракет-носителей в местах их падения носят локальный характер и сосредоточены обычно в зоне радиусом 50 м от места падения. По данным Минобороны России, общая площадь полей падения составляет 15627,6 тыс. га, а загрязнено компонентами ракетного топлива и остатками отделяющихся частей ракет-носителей 191,8 тыс. га. Для устранения таких загрязнений разрабатываются технологии нейтрализации и детоксикации проливов компонентов топлива, а также ведутся работы по сокращению гарантированных запасов компонентов топлива на борту ракет.

Загрязнение воздушной среды транспортом с ракетными двигательными установками (РДУ) происходит главным образом при их работе перед стартом, при взлете, при наземных испытаниях в процессе их производства или после ремонта, при хранении и транспор-

тировании топлива. Состав продуктов сгорания при работе таких двигателей определяется составом компонентов топлива, температурой сгорания, процессами диссоциации и рекомбинации молекул. Количество продуктов сгорания зависит от мощности (тяги) двигательных установок. При сгорания твердого топлива из камеры сгорания выбрасываются пары воды, диоксид углерода, хлор, пары соляной кислоты, оксид углерода, оксид азота, а также твердые частицы Al_2O_3 со средним размером 0,1 мкм (иногда до 10 мкм).

В условиях запуска у пусковой системы образуется облако продуктов сгорания, водяного пара от системы шумоглушения, песка и пыли. Объем продуктов сгорания можно определить по времени (обычно 20 с) работы установки на стартовой площадке и в приземном слое. После запуска высокотемпературное облако поднимается на высоту до 3 км и перемещается под действием ветра на расстояние 30...60 км, оно может рассеяться, но может стать причиной кислотных дождей.

При старте ракетные двигатели неблагоприятно воздействуют не только на приземный слой атмосферы, но и на космическое пространство, разрушая озоновый слой Земли. Масштабы разрушения озонового слоя определяются числом запусков ракетных систем и интенсивностью полетов сверхзвуковых самолетов. По прогнозам фирмы «Аэроспейс», в XXI в. для транспортирования грузов на орбиту будет осуществляться до 10 запусков ракет в сутки, при этом выброс продуктов сгорания каждой ракеты будет превышать 1,5 т/с.

В связи с развитием авиации и ракетной техники, а также интенсивным использованием авиационных и ракетных двигателей в других отраслях народного хозяйства существенно возрос общий выброс вредных примесей в атмосферу. Однако на долю этих двигателей приходится пока не более 1,5 % токсичных веществ, поступающих в атмосферу от транспортных средств всех типов.

Доля загрязнения атмосферы от газотурбинных двигательных установок и ракетных двигателей пока незначительна, поскольку их применение в городах и крупных промышленных центрах ограничено. В местах активного использования ГТДУ и РДУ (аэродромы, испытательные станции, стартовые площадки) загрязнения, поступающие в атмосферу от этих источников, сопоставимы с загрязнениями от ДВС и ТЭС, обслуживающих эти объекты.

Зоны воздействия линий электропередачи, электротранспорта и связи. Электромагнитное загрязнение окружающей среды непрерывно нарастает. Этому способствуют передающие центры ВГТРК, технические средства, используемые в отрасли «связь», высоковольтные

линии (ВЛ), расположенные вблизи жилых зданий, электротранспорт. По данным доклада [7], в некоторых случаях границы санитарно-защитных зон находятся за пределами территории радиотехнических объектов на расстоянии до 50 м, а границы зон ограничения застройки — на расстоянии до 2000 м. Если передатчики радиостанций (3...30 МГц) размещаются в городской черте, то напряженность электрического поля вблизи антенн в районах жилой застройки может достигать 30...40 В/м.

Напряженность электрического поля в жилых зданиях, расположенных вблизи ВЛ электропередачи, в основном не превышает 100..250 В/м, индукция магнитного поля для различных режимов токовой нагрузки составляет для открытых мест жилой застройки 0,3...13 мкТ, внутри жилых зданий — 0,1...3,5 мкТ. Беспокойство вызывают ВЛ с напряжениями 35...220 кВ, проходящие через жилые кварталы, поскольку для подобных ВЛ не предусмотрены санитарно-защитные зоны. Например, в Санкт-Петербурге выявлено 25 зон, в которых расстояние от оси линии до границы застройки не превышало 5 м, а в некоторых из них — 15...20 м.

Уровни магнитной индукции в электротранспорте значительно зависят от режима его эксплуатации: в пассажирских салонах значения магнитной индукции для режимов разгона и торможения составляли до 265 мкТ, электрическая напряженность —10...150 В/м. Уровни магнитной индукции от проводов электрофицированной железнодорожной линии (25 кВ, 50 Гц) составляли 3...14 мкТ в зонах жилой застройки.

Существует устойчивая тенденция наращивания количества излучающих технических средств, увеличения их энергетических потенциалов. В городских районах размещается большое количество антенн различных частотных диапазонов и целевого назначения. Одновременная работа множества разнотипных излучателей, электромагнитные поля которых могут отличаться интенсивностью, поляризацией, частотами, зависимостью от параметров подстилающей поверхности, создает трудности анализа электромагнитной ситуации в конкретном районе.

Зоны расположения Вооруженных Сил. Вклад объектов военной деятельности: космодромов и полигонов, пунктов базирования сил флота, аэродромов, парков автобронетанковой техники, производственных и ремонтных предприятий, арсеналов, баз и складов боеприпасов, ракетного топлива и горюче-смазочных материалов, объектов тепло- и энергоснабжения, баз уничтожения вооружения и военной техники — в загрязнение окружающей среды в целом по России составил 0,6 % сбросов неочищенных и недостаточно очищенных сточ-

ных вод в поверхностные водные объекты и 1,86 % выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [7].

Проблемы Вооруженных Сил (ВС) в области охраны и рационального использования водных ресурсов связаны с неудовлетворительным состоянием очистных сооружений и систем оборотного водоснабжения.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу составили 476,1 тыс. т. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются котельные установки (70...75 % всех выбросов), большинство которых не оснащены пылегазоочистным оборудованием.

В 2000 г. продолжался вывод атомных подводных лодок различных типов из боевого состава ВМФ. На большинстве АПЛ (70 %), выведенных из состава ВМФ, не выгружено отработавшее ядерное топливо. В пунктах базирования сил флота накоплено более 16,5 тыс. $м^3$ жидких радиоактивных отходов и более 24,5 тыс. $м^3$ твердых радиоактивных отходов.

В местах расположения баз хранения вооружения и военной техники, складов горюче-смазочных материалов, авиабаз и аэродромов серьезной проблемой остается предупреждение и ликвидация загрязнения окружающей среды нефтепродуктами. Из 39,21 тыс. га земель, загрязненных нефтепродуктами, 27,672 тыс. га приходится на объекты ВВС. Наиболее технологически сложными являются вопросы ликвидации многолетнего загрязнения земель нефтепродуктами в авиационных гарнизонах.

На военно-морских базах наблюдается превышение установленных нормативов концентрации нефтепродуктов в воде в основных пунктах стоянки кораблей и судов (минимальное превышение — в 2,8 раза — в п. Североморск; максимальное — в 14 раз — в п. Севастополь). На очистку акваторий от нефтяного загрязнения выделены суда-нефтесборщики.

В большинстве военных объектов и воинских гарнизонов отсутствует производственная структура по утилизации и захоронению твердых промышленных и бытовых отходов. Около 14,5 тыс. т бытовых отходов вывозится на свалки. Площадь земель, загрязненных неорганизованными свалками, составляет 171 тыс. га.

Обеспечение экологической безопасности ВС осуществляется по следующим основным направлениям: выявление и контроль источников загрязнения; предотвращение загрязнения и защита личного состава; ликвидация загрязнения окружающей среды. В этих целях проводятся следующие мероприятия: формирование необходимой нормативной правовой базы; разработка новых методов и техноло-

гий, проектирование и создание технических средств обеспечения экологической безопасности. В стадии проработки находятся вопросы организации экологической сертификации образцов вооружения и военной техники.

Деятельность работников административно-управленческого аппарата (АУА). Трудовая деятельность АУА характеризуется высокой ответственностью, большим объемом и неравномерностью поступления информации, напряжением психоэмоциональной сферы, дефицитом двигательной активности, в ряде случаев — нерациональной организацией труда, неблагоприятными санитарно-гигиеническими и социально-гигиеническими условиями. Перечисленные факты определяют напряженность управленческого труда.

Оценки напряженности труда работников управленческого аппарата следующие:

	Балл
Степень ответственности в работе:	
— ответственность за выполнение собственных функциональных обязанностей	1
— ответственность за выполнение работы небольшой группы лиц (до 5 человек)	2
— организационно и/или техническое руководство деятельностью подразделения (отдел, сектор, лаборатория)	3
— организационное руководство основными направлениями деятельности коллектива, отрасли. Разработка долгосрочных планов, прогнозов, программ, концепций в масштабах отрасли	4
Необходимость принятия решений:	
— решение простых вопросов по четкой инструкции	1
— решение сложных вопросов по серии инструкций, пособий и т. п.	2 — 3
— эвристическая (творческая) деятельность в редко повторяющихся ситуациях	4
Степень загрузки:	
— недогружен периодически	1
— загружен полностью	2
— перегружен периодически	3
— перегружен постоянно	4
Сверхурочная работа:	
— отсутствует	1

Степень ответственности в работе:	Балл
— реже 1 раза в неделю	2
— 1...2 раза в неделю	3
— ежедневно	4
Ритмичность загрузки:	
— равномерная загрузка	1
— бывает неритмичная в течение дня, недели, месяца, года	2
— систематическая неритмичная работа	3
Дефицит времени:	
— работа по индивидуальному графику	1
— работа по точному графику с возможностью корректировки по ходу деятельности	2
— работа периодически в условиях дефицита времени	3
— работа в условиях постоянного дефицита времени и недостаточной информации для принятия срочного решения	4
Организация труда:	
— характер и организация труда соответствуют должностным обязанностям	1
— периодически (не полностью) не соответствует	2
— не соответствует	3
Частота стрессовых ситуаций:	
— отсутствует	1
— реже одного раза в неделю	2
— 1...2 раза в неделю	3
— ежедневно	4
Длительность стрессовых ситуаций:	
— до 10 мин	1
— до 30 мин	2
— свыше 30 мин	3
Дефицит двигательной активности на работе (неподвижная работа)	
— до 5 ч	1
— 6 ч	2
— 7 ч	3
— 8 ч	4

Определение категории напряженности труда производится после расчета суммарного показателя по всем критериям в баллах. Если

сумма баллов не превышает 16, работу следует относить к первой категории — мало напряженный труд, если она составляет 17...22 балла — ко второй категории — напряженный труд и 22 балла и выше — к третьей категории — очень напряженный труд.

Значительные профессиональные нагрузки работников аппарата приводят к повышению рабочего напряжения и утомлению, критериями которых являются качественные и количественные сдвиги в состоянии функциональных систем организма.

Количественные критерии, характеризующие высокую степень риска, следующие:

Сердечный ритм	100 1/мин
Артериальное давление:	
систолическое	160 мм рт. ст
диастолическое	105 мм рт. ст.

Физиологическими критериями утомления наряду с ощущением усталости и снижением работоспособности является уменьшение функциональной активности физиологических систем к концу рабочего дня и недели: увеличение периода рефлекторных реакций, нарушение реакции на звук и свет, ухудшение функции внимания, памяти, нарушение мозгового кровообращения и др.

Оптимальные условия труда работников АУА достигаются реализацией комфортных условий труда, соблюдением рациональных режимов труда, отдыха и питания. Снижение вероятности возникновения профессиональных заболеваний и их ранняя диагностика достигаются повышением качества медицинского обслуживания работников.

Контрольные вопросы к главе 18

1. Назовите зоны, в которых наблюдаются специальные условия жизнедеятельности.
2. Какой вид транспорта преимущественно загрязняет атмосферный воздух в городах, аэропортах, на космодромах?
3. Где возможно превышение норм воздействия ЭМП на человека?
4. В чем проявляется негативное воздействие ВС на окружающую среду?
5. Какие мероприятия обеспечивают оптимальные условия труда работников АУА?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из сказанного выше следует, что в среде обитания человека постоянно существует и действует мир естественных, техногенных и антропогенных опасностей.

Естественные опасности, разделяемые на постоянно действующие (изменение погодных условий, освещенности земной поверхности и т. п.) и спонтанно возникающие (стихийные бедствия), хорошо известны человеку. Им найдены и широко используются средства и меры защиты от постоянно действующих естественных опасностей в виде комфортных салонов средств транспорта, уютных и благоустроенных производственных помещений, разнообразной одежды, соблюдения регламента пребывания в естественных условиях и т. п. При наличии необходимых материальных ресурсов и правильном отношении человека к этой группе опасностей они могут быть устранены полностью или ограничены допустимыми значениями.

Полностью устранить негативное влияние спонтанно действующих естественных опасностей человечеству до настоящего времени не удалось. Поэтому оно вынуждено нести порой весьма значительные потери как материальные, так и людские. Реально достигнутые успехи в защите человека от стихийных явлений сводятся к определению наиболее вероятных зон действий этих опасностей, их предупреждению и ликвидации последствий негативных воздействий.

Мир техногенных опасностей вполне познаваем, и у человека есть достаточно средств и способов для защиты от него. Существование техногенных опасностей и их высокая значимость в современном обществе обусловлены несовершенством техники и технологий, а также наличием отходов при любой форме деятельности. Принципиально воздействие вредных техногенных факторов может быть устранено человеком полностью, а воздействие техногенных травмоопасных факторов ограничено допустимым риском за счет совершенствования источников опасностей и применения защитных средств.

Антропогенные опасности во многом обусловлены недостаточным вниманием человека к проблеме безопасности, склонностью к риску и пренебрежению опасностью. Часто это связано с ограниченными знаниями человека о мире опасностей и негативных последствиях их проявления. Воздействие антропогенных опасностей может быть сведено к минимуму за счет обучения населения и работающих

основам безопасности жизнедеятельности, хотя «право» на ошибку у человека будет существовать всегда, а следовательно, полного устранения антропогенных опасностей ожидать не следует.

Современное состояние техносферы в России, к сожалению, не гарантирует высокого уровня реализации конституционных прав человека на безопасную жизнь. По-прежнему высоки, по сравнению с ведущими странами мира, принудительные потери работающих во многих отраслях экономики, потери на пожарах, потери населения, проживающего в крупных техносферных регионах из-за загрязнений и потери в ДТП. По статистическим данным, ежегодно в России погибают или получают ущерб здоровью значительное число людей, а именно:

Причина травматизма	**Численность, чел.**	
	пострадавших	*погибших*
Производственный травматизм (2001)	144 719	4368
Пожары (2001)	14 153	18 289
Техногенные ЧС (2000)	2958	976
ДТП (2002)	215 678	33 243

Практически две трети населения России в 2000 г. проживало на территориях, где уровень загрязнения атмосферного воздуха не соответствует гигиеническим нормативам. Загрязнению атмосферного воздуха взвешенными веществами в городах России (1998) подвержено 22 400 тыс. человек, при этом популяционный годовой риск смерти равен 21 000 человек.

Причины неудовлетворительного состояния техносферы и опасного поведения людей в ней во многом объясняются недостаточным вниманием государственных органов и общества к проблемам БЖД. Достаточно сказать, что введенное в 1991 г. в средней школе обучение основам безопасности жизнедеятельности до сих пор не может избавиться от несвойственных этой дисциплине вопросов начальной военной подготовки и от приоритетного изучения вопросов защиты от ЧС.

Отсутствие необходимых знаний по основам БЖД провоцирует у населения широкомасштабное пренебрежение опасностями, а многоведомственная и сложная система государственного управления в области БЖД порождает безответственность и невнимание к проблеме сохранения численности населения России.

Травматизм взрослого населения по видам среды обитания в России распределяется следующим образом, %:

На производстве	10
В быту	60
На улице	21
На общественном транспорте	2,5
Прочие (занятия спортом и т. п.)	6,5

Для оценки уровня безопасности техносферы и учета влияния действующих в ней опасностей на здоровье и жизни людей используют показатель — сокращение продолжительности жизни (СПЖ). Для современной России этот показатель значительно ниже значений, достигнутых в ведущих странах мира. Так, продолжительность жизни в России составляет 72 года у женщин и 59 лет у мужчин. При этом оценочные значения СПЖ, по сравнению со странами Западной Европы, ниже соответственно на 9 лет и 22 года.

Многое упущено человечеством в вопросах обеспечения собственной безопасности при обитании в техносфере. Практически в начале пути находятся научные разработки и решения в области БЖД, направленные на превентивную комплексную идентификацию источников опасностей и оценку полей опасностей, действующих в проектируемом техносферном регионе; на разработку малоопасного техногенного пространства; создание систем непрерывного мониторинга опасностей в техносфере; разработку эффективных мер по предупреждению ЧС; создание малоотходных производств и производственных циклов; снижение роли антропогенного фактора в возникновении опасных проявлений до допустимого минимума за счет повышения профессиональных знаний человека в области БЖД.

Важнейшим направлением в улучшении защитной деятельности человека будущего является разработка теории БЖД. В последние годы сделаны лишь первые шаги в ее развитии. Для успешного решения вопросов обеспечения БЖД человека в техносфере в ближайшем будущем необходимо развитие следующих научных исследований:

— разработка методов превентивной идентификации опасностей техносферы, в том числе и в условиях возникновения ЧС;

— оценка совокупного воздействия опасностей техносферы и зон их влияния на человека с учетом аддитивности и синергизма;

— разработка теоретических основ создания техносферы, отвечающей требованиям БЖД;

— развитие и совершенствование экспертных методов оценки безопасности и экологичности источников опасности и формулирование на их основе требований к источникам по устранению или снижению опасностей;

— разработка научных основ минимизации негативного влияния объектов экономики и бытовой среды на жизненное пространство техносферы и природу за счет сокращения отходов и рационального потребления природных ресурсов;

— разработка методов прогнозирования и предупреждения техногенных аварий и стихийных явлений;

— разработка научных основ защиты людей в техносфере реализацией защитных мер в жизненном пространстве при невозможности достижения безопасности совершенствованием источников;

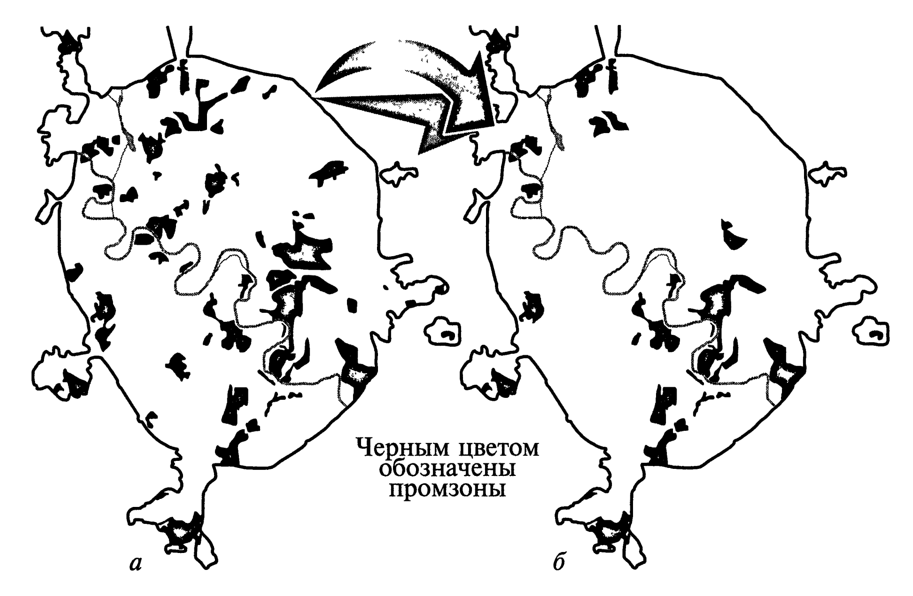


Рис. 3.1. Состояние промышленных зон Москвы в 2003 г. (*а*) и на перспективу (*б*)

— организация и совершенствование мониторинга опасностей техносферы и прогнозной информации населения и работающих об их уровнях;

— научно-методическое совершенствование системы обучения населения, работающих и руководителей экономики всех рангов современным основам безопасности жизнедеятельности;

— совершенствование научных основ законодательно-правовой базы и методов государственного регулирования в области БЖД.

Негативное воздействие опасностей на человека в наибольшей степени проявляется в крупных городах и промышленных центрах.

Одним из радикальных решений, направленных на повышение качества техносферы мегаполисов и крупных городов, является *промышленная миграция.* Идея таких решений известна давно, но реальных достижений на этом пути практически нет. Даже в Москве из 600 производств, намеченных к выводу из города в 80-х годах XX столетия, выведено лишь шесть.

В соответствии с новой концепцией миграции производств, входящих в состав проекта Генплана развития г. Москвы до 2020 г., будет реализована широкая миграция производств на окраины города и в Московскую обл. На рис. 3.1 показано состояние промышленных зон в 2003 г. (*а*) и на перспективу (*б*).

Картографическое описание патологии человека в регионах — одна из важнейших задач медицины в ближайшем будущем. Данные о ха-

рактере заболевания населения будут одним из основных показателей для принятия решений в области безопасности жизнедеятельности.

Для достоверной оценки показателей негативности техносферы необходимо ясно представлять истинное состояние здоровья работающих на промышленном предприятии и различных групп населения города и региона. Оценка состояния здоровья, базирующаяся на данных обращаемости населения в медицинские учреждения, недостоверна и существенно отличается в лучшую сторону от реальной, получаемой при активной выявляемости заболеваний. Для иллюстрации сказанного достаточно сопоставить следующие цифры: у нас в стране ежегодно диагностируется около 9 тыс. случаев профессиональных заболеваний, а в США — более 450 тыс.

Данные свидетельствуют о низком уровне профилактических осмотров, проводимых сегодня на промышленных предприятиях. Что касается регулярных профилактических осмотров городского населения, то они практически отсутствуют.

Важнейшую роль в деле сохранения здоровья населения в ближайшем будущем будет играть **информация об опасностях среды обитания.** Такая информация должна содержать значения и прогноз величины критериев безопасности и показателей негативности среды обитания как в производственных помещениях, так и регионах техносферы. Аналог подобной информации — прогнозы метеослужб. Наличие информации о среде обитания позволит населению рационально выбирать места деятельности и проживания, рационально пользоваться методами и средствами защиты от опасностей.

Задача сложная, но определенные успехи в этом направлении имеются: публикации (правда, нерегулярные) в газетах о состоянии окружающей среды («Аргументы и факты», 2000); действующие в ряде городов (Вена и др.) специальные табло с указанием концентраций некоторых примесей в атмосферном воздухе и т. п.

Воздействие опасностей в условиях производства, города, жилища обычно происходит длительно (в течение суток, рабочего дня и т. п.), поэтому необходим постоянный контроль за параметрами выбросов, стоков и т. п., а также мониторинг состояния среды обитания по контролируемым вредным факторам.

Информационная стратегия государства по укреплению здоровья и профилактике болезней населения должна включать:

— регулярную информацию об опасностях среды обитания;

— регулярную информацию о токсикологических выбросах производства в окружающую среду (рис. 3.2);

— регулярную информацию работающих о негативных факторах производства и о их влиянии на здоровье;

— информацию о состоянии здоровья населения региона и профессиональных заболеваниях;

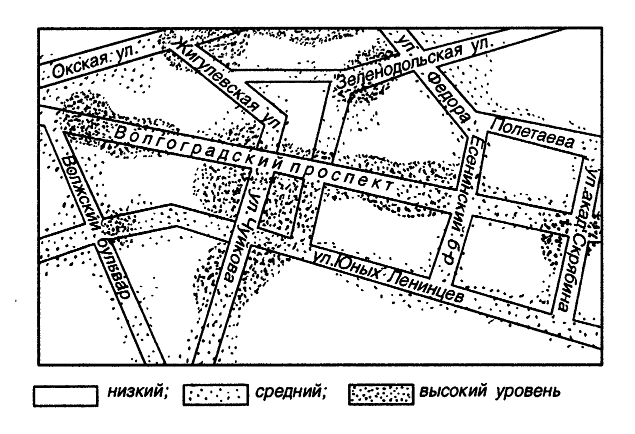


Рис. 3.2. Карта уровней концентраций токсичных веществ Волгоградского проспекта г. Москвы

— информацию о методах и средствах защиты от опасностей;

— информацию об ответственности руководителей предприятий и служб безопасности за безопасное состояние среды обитания.

Внедрение указанных подходов является чрезвычайно актуальным и своевременным. В настоящее время очевидно, что человеческое здоровье занимает одно из ведущих мест в системе социальных ценностей и должно приоритетно рассматриваться в ряду других ресурсов государства, таких, как леса, почва, вода, полезные ископаемые и т. п.

По данным Козлова М.М. и Прусенко Б.Е., в мировой практике в последние годы были проведены **исследования соотношений происшествий различной степени серьезности,** направленные на выявление связи между крупными, мелкими происшествиями и другим опасными событиями. Были сделаны следующие важные выводы:

• В каждом исследовании прослеживается связь между разными типами событий, менее тяжелые происшествия регистрировались гораздо чаще, чем более тяжелые.

• Каждый раз была опасность того, что «происшествия без травм» и «опасные ситуации» могли перерасти в более серьезные.

• Представленные ниже цифры, соответствующие количеству случаев потери контроля, послужили материалом для разработки методов улучшенного контроля.

Ф.Е. Берд мл. в 1969 г. вывел следующее соотношение: на 1 тяжелое происшествие (с потерей трудоспособности) приходятся 10 происшествий с легкими последствиями (любая травма, не приводящая к потере трудоспособности), 30 случаев нанесения материального

ущерба (все типы), 600 происшествий без видимых травм и материального ущерба, т. е. 1 : 10 : 30 : 600.

Тай и Пирсон в 1974/75 гг. установили соотношение: на 1 тяжелое происшествие (со смертельным исходом) приходятся 3 происшествия с легкими травмами (пострадавший отсутствует на работе менее трех дней), 50 происшествий, в результате которых пострадавшим требуется первая медицинская помощь, 80 случаев нанесения материального ущерба, 400 случаев происшествий без травм и потенциально опасных ситуаций, т. е. 1 : 3 : 50 : 80 : 400.

Отделом по предотвращению несчастных случаев — АПУ (Великобритания) в 1993 г. было выявлено соотношение: на 1 тяжелое происшествие (включая случаи, когда пострадавший отсутствует на работе более трех дней) приходятся 7 происшествий с легкими травмами, 189 происшествий без травм, т. е. 1 : 7 : 189.

Таким образом, предотвращение самых легких происшествий косвенным образом влияет и на количество происшествий с тяжелыми последствиями. Более того, в последнее время в мировой практике принято учитывать и оценивать опасность возникновения аварийной ситуации и регистрировать происшествия, которые произошли, но не привели к аварии, инциденту или несчастному случаю (табл. 3.1). Регистрация и анализ происшествий, которые в реальности не привели к более тяжелым последствиям, служат основой для снижения аварийности и травматизма.

Таблица 3.1. **Распределение происшествий, не приведших к авариям или инцидентам по основным категориям (компания «Халлибуртон», Россия, июнь — декабрь 2002 г.)**

Основные категории, по которым регистрируются инциденты и наблюдения	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Всего
Охарана окружающей среды			2					2
Оборудование			8	3	2	1	11	25
Планирование								0
Безопасность труда		4	16	8	17	2	1	48
Процедуры, регламенты			5	1	2		2	10
Химические вещества								0
Персонал			1	1	2			4
СИЗ, спецодежда							1	1
Всего	0	4	32	13	23	3	15	90

Как видно из полученных результатов, большая часть возможных аварий и несчастных случаев связана с условиями труда и эксплуатацией оборудования, своевременное информирование и устранение которых помогли улучшить условия труда и предупредить риск возникновения серьезных аварий и инцидентов.

Идея регистрации происшествий, не приведших к авариям и инцидентам, является новой для российских сотрудников и, конечно же, потребуется определенное время для осознания необходимости регистрации и правильной классификации таких происшествий.

Общее направление деятельности в области БЖД должно соответствовать программе действий «Повестка дня на 21 век» (Материалы Всемирного форума в Рио-де-Жанейро, 1992), положившей основы дальнейшего развития мира. В программе указано, что единственный способ обеспечить безопасное будущее — это комплексно решить проблемы развития экономики и сохранения окружающей среды. Основу решений должно составить устойчивое развитие всех процессов, всемирная экономия ресурсов, безопасные и экологичные технологии, просвещение и подготовка кадров в области безопасного взаимодействия с окружающей средой. Особое внимание в программе предлагается уделить подготовке будущих руководителей всех сфер деятельности.

Термин «устойчивое развитие» впервые использован в докладе для ООН (1987), подготовленном Международной комиссией по окружающей среде и развитию (руководитель — премьер-министр Норвегии Г.Х. Брунтланд) [1]. Широкое использование термин получил на Бразильском форуме (Рио-де-Жанейро, 1992).

Под устойчивым понимают такое развитие общества и его хозяйства, при котором не нарушалась бы природная основа этого развития. Проведение социально-экономической политики при устойчивом развитии должно удовлетворять потребности нынешнего поколения в ресурсах без ущемления интересов будущих поколений в этих ресурсах.

Основными путями достижения устойчивого развития являются:

— стабилизация численности населения Земли и отдельных ее регионов;

— формирование у человека нового подхода к взаимодействию с природой — рационального природопользования: рационально обоснованное использование природных ресурсов, их паспортизация, введение платы за ресурсы; утилизация отходов;

— всемерное сдерживание развития техносферы — совокупности средств, способных сами по себе только разрушаться, но не развиваться;

— создание информосферы, способной рационально управлять потоками веществ и энергии в пространстве и во времени.

Россия, подписавшая документы Всемирного форума по окружающей среде и развитию мира, взяла на себя обязательства по реализации программы устойчивого развития. Начало этому процессу было положено Указом Президента Российской Федерации № 236 от 04.02.94 «О государственной стратегии по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития». Основной задачей этапа устойчивого развития является осознание обществом опасности неустойчивого развития (XX в. и ранее). Обеспечение безопасности того или иного вида деятельности требует создания не только органов и средств защиты от опасностей, но и изменения характера деятельности. Если деятельность связана с неустойчивым развитием, то вряд ли можно сделать ее безопасной. В настоящее время проблему безопасности деятельности необходимо рассматривать в тесной связи с устойчивым развитием общества.

Переход любого государства, в том числе и России, к устойчивому развитию связан прежде всего со стабилизацией численности населения страны. Россия в условиях, когда численность ее населения ежегодно уменьшается на 800—900 тыс. человек (на 0,6 %), не может реально стать на этот путь развития. От государства и общества требуются огромные усилия (по мнению редактора учебника, необходимы усилия на уровне реализации национальной идеи) по увеличению рождаемости и сокращению смертности населения. Это достижимо, прежде всего, за счет роста социально-экономического благополучия (роста ВВП) и улучшения условий жизнедеятельности населения. Определенные успехи в этом направлении связаны и со снижением масштабов принудительной смертности людей, обитающих в условиях техносферы. Последнее полностью определяется уровнем научной и практической деятельности государства и общества в области БЖД.

Социальный заказ на БЖД как науку формировался на протяжении XIX—XX вв., но лишь в конце XX столетия стало ясно: БЖД как науке быть! В настоящее время учение о БЖД человека в техносфере приобретает теоретические контуры, идет формирование терминологической базы, структуры и функциональных связей учения, непрерывно увеличивается численность людей, освоивших основы БЖД, и специалистов, активно работающих в этой благодатной области знаний.

Рассмотрение на перспективу состояния системы «человек — среда обитания» во многом приводит к представлению о том, что человек постепенно теряет свое взаимодействие с природой и все более интенсивно взаимодействует с созданной им техносферой. Вступая в единство с техносферой, человек неизбежно адаптируется в этой среде. Уходя от естественных опасных напряжений, человек подвергает себя более высоким техногенным опасностям, все более высокой становится и цена антропогенных ошибок. В этой ситуации значи-

мость проблем достижения безопасности людей в жизненном пространстве существенно возрастает.

В дальнейшем при создании ноосферы (сфера разума) учение о безопасности жизнедеятельности человека можно рассматривать как *ноксологию* — науку, изучающую взаимодействие человека с техносферой, природой и космосом на языке опасностей. При этом человек должен рассматриваться как физико-биологическая система, воздействие внешней среды на психику людей должно изучаться психологией, а человек как социальная компонента — общественными науками.

Завершая изучение дисциплины БЖД, нельзя не отметить ее огромную социальную значимость и возможное позитивное влияние на решение демографических проблем в России.

Если предположить, что кризиса смертности последних лет не было и после 1965 г. возрастные коэффициенты смертности в России не росли, а снижались бы такими же темпами, как в среднем в странах ЕС, США и Японии в период с 1961 по 1996 год, а остальные составляющие демографической динамики (рождаемость и миграция) оставались бы такими, какими они были в действительности, то общее число умерших за 1965—2003 гг. было бы меньше фактического почти на 17 млн. Половозрастная структура этих непредотвращенных потерь представлена в табл. 3.2.

Таблица 3.2. **Оценка избыточного числа умерших в России за 1965—2003 гг. вследствие кризиса смертности, тыс. чел.**

Возраст умерших	Мужчины	Женщины
Дорабочий (0—15)	– 501	– 303
Рабочий (16—54/59)	– 9275	– 2385
Послерабочий (55/60)	– 1214	– 3104
Всего:	10990	5792

Таким образом, почти 12 млн преждевременно умерших приходится на рабочие возраста, из них свыше 9 млн — мужчины.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В БЖД

Авария — происшествие в технической системе, не сопровождающееся гибелью людей, при котором восстановление технических средств невозможно или экономически нецелесообразно.

Адаптация — процесс приспособления организма человека к условиям окружающей среды. В производственных условиях — привыкание человека к конкретным условиям труда.

Безопасность жизнедеятельности — раздел ноксологии, изучающий опасности техносферы, а также условия и средства реализации комфортного и допустимого взаимодействия человека с техносферой. БЖД — наука о комфортном и травмобезопасном взаимодействии человека с техносферой.

Вредный фактор — негативное воздействие на человека, которое приводит к ухудшению его самочувствия или заболеванию.

Допустимый (приемлемый) риск — максимальное значение риска (индивидуального, техногенного и др.), нормативно приемлемое современным сообществом или государством.

Жизнедеятельность — процесс непрерывного взаимодействия человека со средой обитания в целях удовлетворения своих потребностей.

Идентификация опасностей — процесс распознавания и параметрического описания опасностей в поле их действия.

Индивидуальный риск — вероятность реализации негативного воздействия на человека в зоне его пребывания.

Катастрофа — происшествие в технической системе, сопровождающееся гибелью людей или их пропажей без вести.

Критерий безопасности — показатель качества среды обитания по параметрам влияния вредных и травмоопасных факторов в зоне пребывания человека. Критерии безопасности — это нормативные ограничения на вредные факторы и риски травмоопасности в зоне пребывания человека.

Критерий комфортности — показатель качества среды обитания по параметрам микроклимата, освещения и концентрациям загрязнения веществ в зоне пребывания человека.

Ноксология — наука об опасностях Вселенной.

Объект защиты — это человек, а также биоресурсы, необходимые ему для существования.

Опасная зона — пространство, в котором постоянно существуют или периодически возникают опасности. Термин «опасная зона» — аналог термина «ноксосфера».

Опасность — свойство человека и окружающей среды, способное причинять ущерб живой и неживой материи.

Показатель негативности — абсолютная или относительная численность людей, пострадавших от воздействия опасностей среды обитания: численность пострадавших, показатели тяжести и частоты травматизма, смертность населения в трудоспособном возрасте, смертность людей от воздействия внешних негативных факторов среды обитания и т. п.

Потенциальная опасность — это угроза общего характера, не связанная с координатами пространства и временем воздействия. Указание на наличие потенциальной опасности свидетельствует лишь о принципиальной возможности возникновения потоков, способных причинить ущерб.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) — максимальное значение вредного фактора, которое, воздействуя на человека, не вызывает у него или у его потомства патологических изменений даже скрытых и временно компенсируемых, в том числе заболеваний, изменений реактивности, адаптационно компенсаторных возможностей, иммунологических реакций, нарушений физиологических циклов, а также психологических нарушений.

Происшествие — событие, состоящее из негативного воздействия с причинением ущерба людским, природным или материальным ресурсам.

Риск — вероятность реализации негативного воздействия.

Социальный риск — вероятность реализации негативного воздействия на группу или сообщество людей.

Среда обитания — окружающая человека среда, обусловленная совокупностью факторов (физических, химических, биологических, информационных, социальных), способных оказывать прямое или косвенное, немедленное или отдаленное воздействие на жизнедеятельность человека, его здоровье и потомство.

Стихийное бедствие — происшествие, связанное со стихийными явлениями на Земле и приведшее к гибели или потере здоровья людей, к разрушению биосферы или техносферы.

Техногенный риск — вероятность реализации негативного процесса в технической системе — вероятность возникновения аварий.

Таксономия опасностей — это классификация опасностей по различным признакам.

Техносфера — среда обитания, возникшая с помощью прямого или косвенного воздействия людей и технических средств на природную среду с целью наилучшего соответствия среды социально-экономическим потребностям человека.

Толерантность — способность организма переносить неблагоприятное воздействие того или иного фактора среды обитания.

Травмирующий (травмоопасный) фактор — негативное воздействие на человека, которое приводит к травме или летальному исходу. Часто используемое деление опасностей на вредные и опасные факторы вряд ли рационально. Опасности нужно разделять на вредные и травмирующие (травмоопасные) воздействия.

Чрезвычайная ситуация (ЧС) — состояние объекта, территории или акватории, как правило, после ЧП, при котором возникает угроза жизни и здоровью группы людей, наносится материальный ущерб, деградирует природная среда.

Чрезвычайное происшествие (ЧП) — событие, происходящее обычно кратковременно и обладающее высоким разрушительным уровнем негативного воздействия на людей, природные и материальные ресурсы. К ЧП относят крупные аварии, катастрофы, стихийные бедствия.

Экологический риск — вероятность реализации негативного воздействия на компоненты среды обитания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. для вузов/Под ред. С.В. Белова; 6-е изд., испр. и доп.— М.: Высш. шк., 2006.— 606 с.
2. Безопасность жизнедеятельности. Учеб. для средних проф. учеб. заведений/Под ред. С.В. Белова; 5-е изд., исп. и доп.— М.: Высш. шк., 2006.— 424 с.
3. *Глебова Е.В.* Производственная санитария и гигиена труда. Учеб. пос. для вузов.— М.: Высш. шк., 2005.— 383 с.
4. *Мастрюков Б.С.* Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Учеб. для вузов.— М.: Издат. центр «Академия», 2003.— 336 с.

Дополнительная

5. *Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н.* Риски в природе, техносфере, обществе и экономике.— М.: Деловой экспресс, 2004.— 352 с.
6. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2004 г.— М.: ООО «МультиМедиаТехнологии и дистанционное обучение», 2005.— 172 с.
7. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2003 г.— М.: Гос. центр эколог. программ, 2004.— 144 с.
8. *Кирюшкин А.А.* Введение в безопасность жизнедеятельности.— СПб.: Гос. ун-т, 2001.— 204 с.
9. *Козьяков А.Ф.* Приложение к журналу БЖД. 2005, № 8.
10. Надежность технических систем и техногенный риск/Под ред. М.И. Фалеева.— М.: ЗАО ФИД «Деловой эксперт», 2002.— 368 с.
11. *Реймес Н.Ф.* Надежды на выживание человечества. Концептуальная экология.— М.: Изд-во ИЦ «Россия молодая». Сер. экология, 1992.
12. Состояние условий и охраны труда в Российской Федерации в 2001 г. и меры по их улучшению (Нац. докл.).— М.: ВЦОТ, 2002.— 11 с.
13. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Р2.2 2006—05.
14. Совершенствование системы охраны труда на основе концепции профессионального риска/Э.М. Соколов, В.В. Ветров, Е.И. Захаров, И.В. Панферова.— Тула: Тул. гос. ун-т., 1999.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ISBN 978-5-06-004171-2

